

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Obor: TEXTILNÍ TECHNOLOGIE
(3106 – T)

Téma: Vliv rychlosti deformace na pracovní tahové křivky přízí

Theme: The influence of the speed of deformation on tensile curves of yarns

Bc. Lucie Dokoupilová

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková

Konzultant diplomové práce: Ing. Jana Nováčková

Počet stran textu: 60

Počet obrázků: 31

Počet tabulek: 16

Počet příloh: 5

Prohlášení:

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Zb. o právu autorském, zejména §60 (školní dílo) a §35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a *prohlašuji, že souhlasím* s případným užitím mé práce.

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s užitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucí a konzultantkou diplomové práce.

V Liberci dne 12.5 2007

.....

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí své diplomové práce doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové a konzultantce Ing. Janě Nováčkové za cenné rady a připomínky.

Anotace:

Diplomová práce popisuje mechanicko - fyzikální vlastnosti vláken a přízí. Tento popis byl stanoven pomocí tahových zkoušek a jejich základních charakteristik. Na vybraných bavlněných přízi a polyesterovém monofilu byla provedena tahová zkouška a následně sledován vliv zvyšující se rychlosti deformace (upínací délky) na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti.

Anotation:

In the thesis, the mechanical-physical properties of fibres and yarns are described. This description was determined on the base of knowledge of stress-strain curves and their characteristics. On the selected samples of cotton yarn and polyester monofilament the tensile impact tests were made. Consecutively, the impact of increasing speed of deformation on the relative solidity, tensility and module of flexibility was monitored.

Seznam symbolů:

a	Phrixův koeficient zákrutu [$\text{m}^{-1} \cdot \text{ktex}^{-2/3}$]
A	faktor pro upínací délku
B	faktor pro rychlost deformace
c	konstanta migrace
d	průměr útvaru po deformaci [mm]
dl	přírůstek délky [mm]
dt	přírůstek času [min]
dF	přírůstek síly [N]
d_0	průměr útvaru před deformací [mm]
$d\epsilon$	přírůstek prodloužení [mm]
D	průměr příze [mm]
D_S	substanční průměr příze [mm]
\hat{e}_{ijk}	rezidua
E	modul pružnosti [Pa]
E_p	počáteční modul pružnosti [Pa]
E_s	sekantový modul [Pa]
E_t	tangentový modul [Pa]
f	součinitel tření vlákna [-]
F	síla (napětí do přetrhu) [N]
F_0	síla pro předpětí [N]
Fr	relativní (poměrná) síla [cN/tex]
h	vzdálenost [mm]
I, J	konstanty ve vztahu k upínací dálce
k_p	konstanta tlaku [Pa]
k_s	koeficient migrace [-]
K	konstanta materiálu [mm]
l	délka útvaru po prodloužení [mm]
l_x	prodloužení do bodu přetrhu X [mm]
l_0	délka útvaru před deformací (upínací délka) [mm]
l_l	úsek délky l [mm]
L	polovina střední délky vláken [mm]

m	hmotnost [g]
M	počet řádků
M_R	nevychýlený odhad rozptylu
n	počet
n_{ij}	počet pozorování
N	počet sloupců
P	relativní (poměrná) pevnost [cN/tex]
\bar{P}_D	průměrná pevnost (podle Dase) úseků délky l [N]
\bar{P}_N	průměrná pevnost (podle Neckáře) úseků délky l [N]
\bar{P}_P	Pierceův model rozložení pevnosti [N]
P_x	pevnost do bodu přetrhu X [N]
r	poloměr [mm]
S	substanční průřez příze [m ²]
S_C	celková plocha průřezu příze [m ²]
S_r	reálná součtová plocha vláken v průřezu příze [m ²]
t	čas [s]
T	jemnost příze [tex]
$v_{př.}$	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]
v_e	rychlost deformace [1/min]
V	objem [m ³]
V_P	celkový objem příze [m ³]
V_v	objem vláken [m ³]
V_0	objem útvaru před deformací [m ³]
W	deformační práce [J]
W_F	pracovní faktor [J]
X	bod přetrhu
y_{ijk}	výsledek měření
Z	zákrut příze [m ⁻¹]
α_k	Köchlinův koeficient zákrutu [m ⁻¹ .ktex ^{-1/2}]
α	vliv sklonu vláken [-]
α_i	řádkové efekty
β	úhel stoupání šroubovice vlákna na obecném poloměru příze [rad]

β_D	úhel stoupání šroubovice povrchových vláken v přízi [rad]
β_i	sloupcové efekty
Δl	přírůstek délky po prodloužení [mm]
ε	poměrné prodloužení [mm]
ε_{ijk}	náhodná chyba
ε_k	prodloužení do meze kluzu [mm]
ε_P	poměrné příze [mm]
$\varepsilon_{př.}$	tažnost do přetrhu [%]
ε_T	příčné zkrácení útvaru [mm]
ε_v	poměrné prodloužení vlákna [mm]
$\bar{\xi}$	mechanicky vyrovnatelné navlnění [-]
ξ_0	konstanta mechanicky vyrovnatelného navlnění [-]
η	Poissonův poměr příčné kontrakce příze [-]
η_{kor}	korigovaný Poissonův poměr příze [-]
η_t	poměr příčné kontrakce v tečném směru [-]
μ	zaplnění příze [-]
μ_{ij}	skutečná hodnota výsledků analýzy
$\hat{\mu}_{ij}$	skutečná průměrná hodnota výsledků analýzy
μ_m	mezní zaplnění [-]
ρ	měrná hmotnost [kg.m ⁻³]
σ	napětí do přetrhu [Pa]
σ_D	směrodatná odchylka pevnosti (podle Dase) úseků délky l [-]
σ_k	napětí do meze kluzu [Pa]
σ_N	směrodatná odchylka pevnosti (podle Neckáře) úseků délky l [-]
τ_{ij}	interakční člen
$\hat{\tau}_{ij}$	odhad interakcí
φ	sklon vláken [-]
χ	prokluzu vláken [-]
ψ	navlnění vláken [-]
ω	migrace vláken [-]

OBSAH:

2. REŠERŠNÍ ČÁST	12
2.1 Základní geometrické veličiny popisující příze	12
2.2 Mechanické vlastnosti vláken a přízí	13
2.2.1 Deformace tahem - pevnost a tažnost	14
2.2.1.1 <i>Ultimativní charakteristiky, Poissonův poměr</i>	15
2.2.3 Rozbor pracovní křivky tahové zkoušky	16
2.2.3.1 <i>Počáteční, tangentový a sekantový modul</i>	16
2.2.3.2 <i>Mez pružnosti</i>	17
2.2.3.3 <i>Mez kluzu</i>	18
2.2.3.4 <i>Deformační práce</i>	18
2.2.3.5 <i>Pracovní faktor (linearita)</i>	19
2.2.4 Přístroje pro měření pevnost a tažnosti, rychlost deformace	19
2.2.4.1 <i>Upínací délka</i>	25
2.2.4.2 <i>Předpětí</i>	27
2.2.5 Strukturální vlivy	27
2.2.5.1 <i>Vliv sklonu vláken ϕ</i>	28
2.2.5.2 <i>Vliv navlnění vláken ψ</i>	28
2.2.5.3 <i>Prokluzu vláken χ</i>	29
2.2.5.4 <i>Migrace vláken ω</i>	30
2.2.6 Vliv klimatických podmínek na mechanické vlastnosti	31
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
3.1 Rychlost deformace	33
3.2 Zjišťování vlivu rychlosti deformace a upínací délky na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti	36
3.2.1 Analýza rozptylu	41
3.2.1.1 <i>Porovnání vlivu rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti pro přízi jemnosti 7,4 tex</i>	45
3.2.1.2 <i>Porovnání vlivu rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti pro přízi jemnosti 14,5 tex</i>	46

3.2.1.3 Porovnání vlivu rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti pro polyesterový monofil.....	48
3.2.1.4 Porovnání.....	50
3.2.2 Závislost relativní pevnosti na rychlosti deformace.....	51
3.2.3 Závislost relativní pevnosti na upínací délce.....	59
4. ZÁVĚR.....	60

ÚVOD:

Textilní materiály stále patří mezi klíčové produkty současného průmyslu. Jejich spotřeba s rostoucí životní úrovní neustále stoupá. Vyrůstají i požadavky na kvalitu a na specifické, přesně definované vlastnosti materiálů.

Proto se poslední dobou věnuje velká pozornost výzkumu jednotlivých základních parametrů a vztahů mezi nimi. Pozorné zkoumání a porovnávání tahových křivek vláken a přízí pomáhá objasnit vztahy při jednoosém namáhání. Dobré porozumění těmto vztahům může posloužit k vytvoření modelu, na jehož základě je možno stanovit vhodnou kombinaci vstupních faktorů pro dosažení specifických vlastností výstupního produktu.

Mezi základní způsoby zjišťování mechanicko-fyzikálních vlastností lineárních textilií patří tahová zkouška. Analýza hodnot získaných pomocí této zkoušky umožňuje stanovení základních charakteristik přízí, jako je pevnost, tažnost, modul pružnosti, příp. práce do přetrhu. Dále pomocí vhodného nastavení vstupních parametrů tahové zkoušky (rychlost posuvu příčnicku, upínací délka atd.) je možno získat výsledky, které mohou sloužit jako podklad pro vybudování dynamického modelu zkoumaných materiálů. Pro získání porovnatelných a opakovatelných výsledků je důležité přesné a jednotné nastavení vstupních údajů trhačního přístroje před počátkem měření.

Tato diplomová práce se zabývá studiem vlivu rychlosti deformace a upínací délky na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti. Je sledován vliv těchto faktorů na výsledné hodnoty charakteristik tahové křivky a porovnán se základními modely.

2. REŠERŠNÍ ČÁST

2.1 Základní geometrické veličiny popisující příze

Jemnost příze

Jemnost příze T se vyjadřuje lineární hmotností, tzn. hmotností m připadající na jednotku délky příze l . V systému SI: $1\text{kg/m} = 1\text{Mtex}$. V praxi se užívá $1\text{g/km} = 1\text{tex} = 10^{-6}\text{Mtex}$ [1].

$$T = \frac{m}{l} = \frac{V\rho}{l} = \frac{Sl\rho}{l} = S\rho \quad (2.1)$$

Kde V je objem vláken v přízi $[\text{m}^3]$, ρ měrná hmotnost vláken $[\text{kg.m}^{-3}]$ a S substanční průřez příze (souhrnná plocha vláken v příčném řezu příze) $[\text{m}^2]$.

Průměr příze

Pokud by se z příze odstranil všechny vzduch stává se z ní homogenní válec o substančním průměru příze D_s [m] (nejmenší možný) který je definován jako:

$$D_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad S = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (2.2)$$

Skutečná příze není homogenním válcem, mezi vlákny se vyskytují vzduchové mezery. Mezi průměrem D a substančním průměrem D_s platí $D > D_s$ [2].

Zaplnění příze

Zaplnění μ je bezrozměrná veličina ležící v intervalu $<0;1>$ [1]. Zaplnění je definováno jako poměr objemu vláken V_v $[\text{m}^3]$ k celkovému objemu příze V_p $[\text{m}^3]$ (2.3). Zaplnění lze také vyjádřit poměrem ploch vláken S $[\text{m}^2]$ k celkové ploše průřezu přízi S_c $[\text{m}^2]$ (2.4).

$$\mu = \frac{V_v}{V_p} \quad (2.3)$$

$$\mu = \frac{S}{S_c} \quad (2.4)$$

Zaplnění je ovlivněno jemností, zákrutem a technologií výroby příze. Největší hodnoty zaplnění vykazují vrstvy na malých poloměrech příze tzn. směrem k ose příze. Směrem k povrchu zaplnění klesá k nule.

Zákrut příze

Funkcí zákrutu je zpevnění vlákenného produktu. Zákrutem dochází k zhuštění a stlačení vláken. To vyvolá vznik třecích sil zabraňujících posuvu vláken.

Zákrutem příze se rozumí zakroucení vláken ve směru šroubovice okolo osy příze. Vlákná jsou uložena v přízi pod určitým sklonem vzhledem k ose příze. Zákrut Z [m^{-1}] vyjadřuje počet otáček připadajících na jednotku délky příze.

Při dodržení podmínky konstantní intenzity kroucení přízí různých jemností se využívá tzv. Köchlinův zákrutový koeficient α_k [$\text{m}^{-1} \text{ktex}^{-1/2}$] [2].

$$\alpha_k = Z\sqrt{T} \quad (2.5)$$

Pro zakrucování jemných přízí se používá Phrixův zákrutový koeficient a [$\text{m}^{-1} \text{ktex}^{-2/3}$]

$$a = Z * T^{2/3} \quad (2.6)$$

2.2 Mechanické vlastnosti vláken a přízí

Mechanické vlastnosti popisují schopnost tělesa změnit tvar, případně i objem (tj. deformovat se) v důsledku působení vnějších mechanických sil. Podle účinku vnějších sil se dělí na deformační, popisující průběh deformace materiálu, to jsou elastické, viskoelastické, plastické deformace a destrukční (např. pevnost, tažnost, odolnost v oděru) jež popisují mechanické porušení materiálu [3]. Podle časového režimu namáhání se dělí na statické (konvenční tahová zkouška) a dynamické. Podle

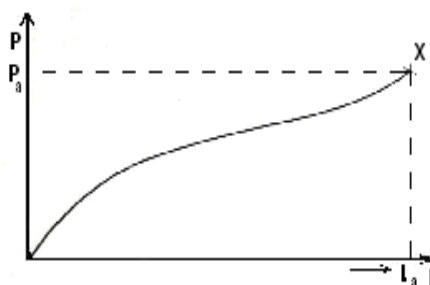
způsobu namáhání se volí buď jednoosé namáhání (tah, tlak) nebo víceosé (krut, ohyb). S ohledem na opakování se rozlišuje namáhání prosté a cyklické.

Mechanické charakteristiky jsou dále závislé na chemickém složení vláken (typu a intenzitě mezimolekulových vazeb) molekulové hmotnosti polymerních řetězců a podmínkách zvlákňování resp. dloužení a fixace (krystalinitě, orientaci krystalické a amorfní fáze) [4].

Existuje tedy velké spektrum různých způsobů namáhání, které poskytují různé informace o mechanických projevech vláken a přízí. Zpracování a interpretace mechanických experimentů vyžaduje tvorbu modelů charakterizujících minimálně souvislosti mezi deformací, napětím a časem, příp. teplotou [4].

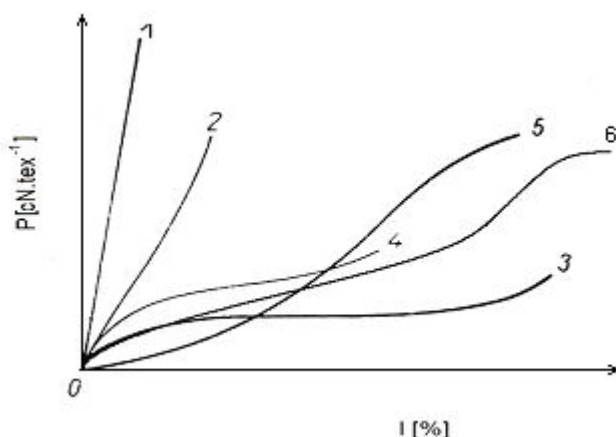
2.2.1 Deformace tahem - pevnost a tažnost

Základním režimem namáhání je jednoosá deformace v tahu. Sleduje se vztah mezi silou a protažením útvaru. Působí-li na vlákno či přízi postupně rostoucí síla P , dochází k růstu prodloužení l až do bodu přetrhu X . Souřadnice bodu přetrhu P_x a l_x se označují jako pevnost a tažnost. Tato závislost se vyjadřuje graficky a nazývá se pracovní křivka, znázorněná na obr. 1.



Obr. 1 Pracovní křivka

Hodnoty pevnosti a tažnosti (tzv. ultimativní charakteristiky) jsou základními charakteristikami všech typů vláken a přízí. Tyto hodnoty ale nepopisují dostatečně změny, ke kterým v přízi, případně ve vlákně, v průběhu tahové zkoušky dochází. Proto je důležité sledovat i průběh a výsledný tvar tahové křivky. Na obr.2 jsou znázorněny jednotlivé tahové křivky pro různé materiály.



Obr. 2 Pracovní diagram pro různé typy vláken. 1 – len, 2 – bavlna, 3 – vlna, 4 – viskóзовé hedvábí, 5 – polyamid, 6 – polyester

Čím je křivka strmější (křivky 1,2) tím větší má materiál odpor proti deformaci. Vlákná mají velkou pevnost. V případě, že jejich tažnosti jsou malé, jsou tato vlákna současně křehká. Při vyšší tažnosti (křivky 3,4,5,6), je materiál poddajnější a houževnatější. Vlákná jsou tažná a mají současně nízkou pevnost. Vlákná s vyšší pevností jsou tažná a houževnatá.

2.2.1.1 Ultimatívní charakteristiky, Poissonův poměr

Pevnost (síla F do přetrhu) se definuje buď jako relativní (poměrná) síla F_r vyjádřená jako síla na jednotku jemnosti (2.7) nebo jako napětí do přetrhu σ vyjádřené jako síla na jednotku plochy příčného řezu (2.8).

$$F_r = \frac{F}{T} = \frac{F}{S\rho} \quad [N/tex] \quad (2.7)$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad [N/m^2 = Pa] \quad (2.8)$$

Platí že:

$$\sigma = F_r \rho \quad \text{resp.} \quad F_r = \frac{\sigma}{\rho} \quad [MPa] = [N/tex] \cdot [kg/m^3] \quad (2.9)$$

Poměrné prodloužení ε se definuje vztahem (2.10), kde l [mm] je délka útvaru po protažení, l_0 [mm] délka původní, Δl [mm] prodloužení. Tažnost (deformace do přetrhu) $\varepsilon_{př.}$ [%] je dána vztahem (2.11).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Delta l = l - l_0 \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_{př.} = \frac{l - l_0}{l_0} * 100 \quad (2.11)$$

Důležitou charakteristikou deformačního chování je Poissonův poměr η definovaný jako podíl příčného zkrácení ε_T k podélnému prodloužení ε útvaru.

$$\eta = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon} \quad \varepsilon_T = \frac{d - d_o}{d_o} \quad (2.12)$$

kde d je průměr po deformaci a d_o průměr původní. Pomocí Poissonova poměru lze určit také změnu objemu, kde V je objem po deformaci a V_o objem původní.

$$\frac{V}{V_o} = (1 - \nu \varepsilon_p)^2 (1 + \varepsilon_p) \quad (2.13)$$

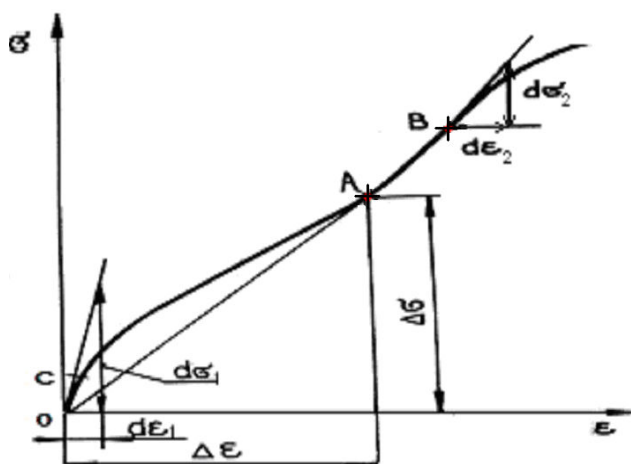
$V = V_o \dots \dots \eta = 0,5$ kaučuk (objem se nemění)
 $V > V_o \dots \dots 0,2 \leq \eta \leq 0,4$ vlákna (objem roste) [4].

2.2.3 Rozbor pracovní křivky tahové zkoušky

2.2.3.1 Počáteční, tangentový a sekantový modul

Počáteční modul pružnosti E_p je definován strmostí pracovní křivky při nulové deformaci, je to první derivace funkce tahové křivky, jinými slovy směrnice tečny ke

křivce v počátku $E_p = d\sigma_1/d\varepsilon_1$. Tangentový modul je definován strmostí pracovní křivky při nenulové deformaci $E_t(B) = d\sigma_2/d\varepsilon_2$ a sekantový modul E_s je v libovolném bodě definován směrnici přímky spojující počátek s tímto bodem pracovní křivky. $E_s(A) = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$. Tangentový a sekantový modul lze definovat v každém bodě pracovní křivky (kromě počátku) [3].



Obr. 3 Rozbor modulů tahové křivky

2.2.3.2 Mez pružnosti

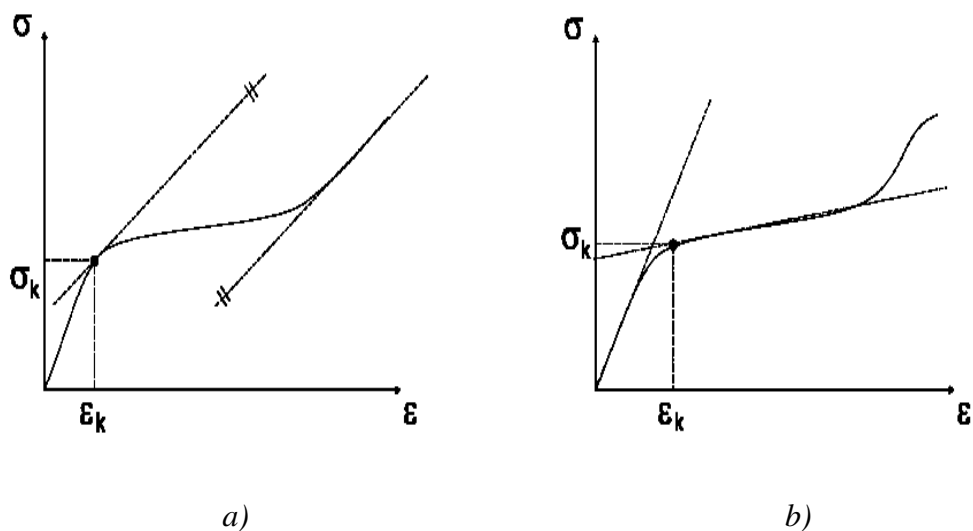
Mez pružnosti je definována jako napětí při kterém ještě nevznikají trvalé (plastické) deformace [3]. (Obr. 3, lineární oblast, úsek $O - C$). Předpokládá se že deformace vznikající až do meze pružnosti jsou elastické, tj. okamžité, časově nezávislé a vratné. Pro pružnou deformaci platí Hookeův zákon:

$$\sigma = E_p * \varepsilon \quad (2.14)$$

Ve skutečnosti v každé látce vznikají malé plastické deformace už při nejmenších napětích, a proto neexistuje ostré rozhraní mezi elastickou a plastickou deformací. Z těchto důvodů není možné mez pružnosti experimentálně stanovit. Proto je tato mez definována jako napětí, které způsobí trvalou deformaci určité minimální velikosti (např. 0,005% nebo 0,01%) [3].

2.2.3.3 Mez kluzu

Udává nejmenší hodnotu aplikovaného napětí, od kterého začíná výrazná plastická (tj. nevratná) deformace [3]. Na obr. 4 jsou vyznačeny dva způsoby určování meze kluzu.

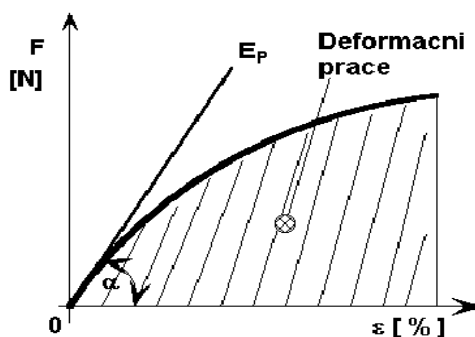


Obr. 4 Definice meze kluzu a) podle Mereditha, b) podle Coplana

2.2.3.4 Deformační práce

Je to práce W [J] potřebná k přetržení útvaru. Je definovaná jako plocha pod pracovní křivkou a vyjádřena integrálem, kde dl je prodloužení do přetrhu obr.5.

$$W = \int_0^{\text{přetrh}} F dl \quad (2.15)$$



Obr. 5 Deformační práce

2.2.3.5 Pracovní faktor (linearita)

Pracovní faktor W_F [J] umožňuje stanovit práci při přetrhu W z hodnot specifického napětí F a prodloužení ε .

$$W_F = \frac{W}{F\varepsilon} \quad (2.16)$$

Pracovní faktor pro lineární průběh tahové křivky je 0,5. Při vyšším faktoru ($>0,5$) je velikost vykonané práce větší a naopak při nižším faktoru ($<0,5$) bude potřeba k přetržení útvaru vynaložit menší práci [5].

2.2.5 Přístroje pro měření pevnost a tažnosti, vliv rychlosti deformace

Přístroje pro zjišťování mechanických vlastností můžeme podle principu jejich činnosti popsat jako přístroje pracující s konstantním přírůstkem síly a přístroje pracující s konstantním přírůstkem deformace.

Přístroje pracující s konstantním přírůstkem síly

Přístroje pracující s konstantním přírůstkem síly resp. přesněji zatížení pracují na principu, který lze popsat rovnicí (2.17), kde dF je přírůstek síly, dt přírůstek času.

$$v_s = \frac{dF}{dt} \quad (2.17)$$

Toho se dá v praxi dosáhnout např. pákovým mechanismem. Na tomto principu pracují např. dnes již historické přístroje SCHOPPER, které využívají kyvadla [6].

Přístroje pracující s konstantním přírůstkem deformace

Přístroje vyvozují napětí ve vzorku posuvem jedné z čelistí, která se pohybuje s konstantní rychlostí za určitý čas. Rychlost deformace v_ε [1/min] vyjadřuje přírůstek deformace za jednotku času.

$$v_{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.18)$$

Rychlost posuvu příčnicku $v_{př.}$ [mm/min] vyjadřuje přírůstek prodloužení za jednotku času.

$$v_{př.} = \frac{d\Delta l}{dt} \quad (2.19)$$

Po dosazení vztahu (2.10) do (2.18) platí:

$$v_{\varepsilon} = \frac{d\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)}{dt} = \frac{d\Delta l}{l_0 dt} = \frac{v_{př.}}{l_0} \quad (2.20)$$

Z uvedeného vztahu je vidět, že rychlost deformace závisí na rychlosti posuvu příčnicku a na upínací délce.

Princip konstantního přírůstku deformace je v současné době uplatňován u všech moderních trhacích přístrojů (dynamometrů). Důvodem je konstrukce měřících členů síly a deformace, které mohou pracovat na kapacitním nebo indukčním principu, možnost převodu elektrického analogového signálu na digitální a tím spojení přístroje s výpočetní technikou [6].

Rychlost deformace má na výsledky měření pevnosti v tahu a tažnosti zásadní vliv. Např. pro zatěžování příze platí, že čím rychleji ji budeme zatěžovat, tím méně času bude mít na přeskupení vnitřních sil tvořených např. třením mezi vlákny. S rostoucí rychlostí zatěžování roste úroveň pevnosti a klesá tažnost [6].

V pracích [7]-[11] je sledován vliv rychlosti deformace na relativní pevnost. Ve všech těchto pracích se vychází z modelu, který vyjadřuje závislost pevnosti na rychlosti deformace. Pro sestavení modelu platí tyto předpoklady [10]:

Platí Hookeův zákon pro vztah mezi aplikovaným statickým nebo dynamickým napětím a prodloužením.

$$\begin{aligned}\sigma_f^s &= E_f^s \varepsilon_f^s \\ \sigma_f^d &= E_f^d \varepsilon_f^d\end{aligned}\tag{2.21}$$

Kde E_f je modul pružnosti, σ_f , ε_f napětí a prodloužení vlákna. Index f značí vlákno, s a d statické a dynamické zatížení. Dynamický modul pružnosti a prodloužení vlákna při dynamickém zatížení popisují následující formulace

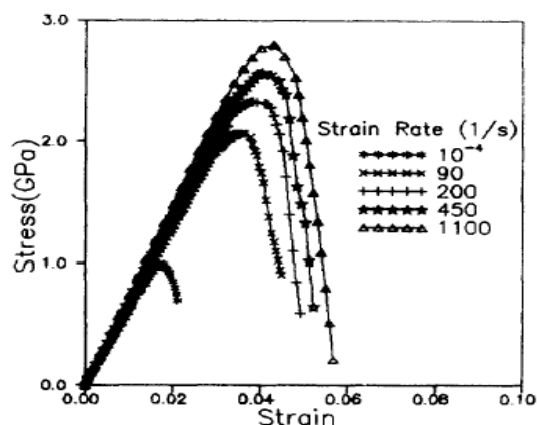
$$\frac{E_f^d}{E_f^0} = 1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\tag{2.22}$$

$$\frac{\varepsilon_f^d}{\varepsilon_f^0} = 1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\tag{2.23}$$

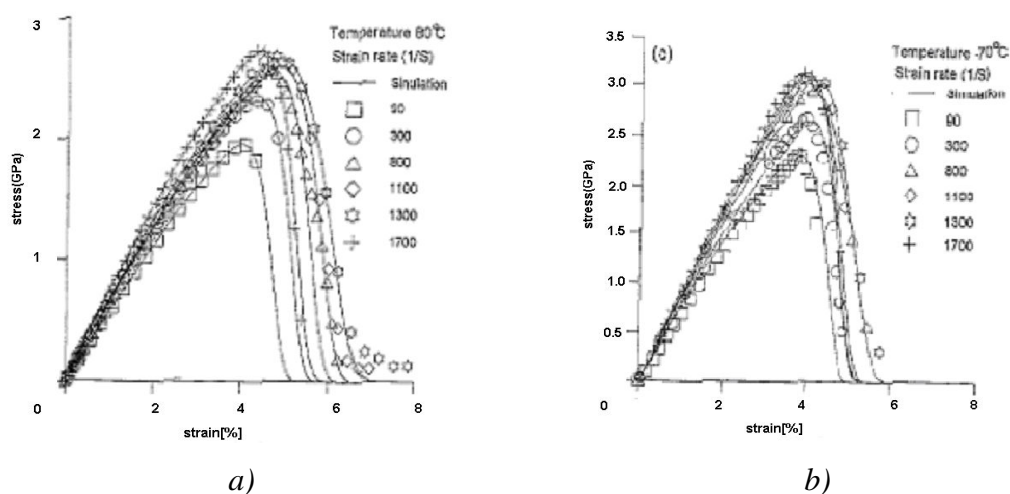
Kde v_ε je vstupní rychlost deformace, E_f^0 a ε_f^0 modul pružnosti a prodloužení vlákna při působení rychlosti deformace $v_{\varepsilon 0}$. $f(v_\varepsilon / v_{\varepsilon 0})$ a $\lambda(v_\varepsilon / v_{\varepsilon 0})$ jsou definované jako funkce závislosti rychlosti deformace. Ze vztahů (2.22), (2.23), (2.24) a $\sigma_f^0 = E_f^0 \varepsilon_f^0$ můžeme vyvodit (2.25), což je vztah mezi funkcemi rychlosti deformace v závislosti na pevnosti vlákna.

$$\sigma_f^d = \left[1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\right] \left[1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\right] \sigma_f^0\tag{2.24}$$

Pevnost skleněných svazků vláken, modelována podle (2.24), v závislosti na zvyšujících se rychlostech deformací [7] je na obr. 6. Na obr. 7 je závislost pevnosti na rychlostech deformací při různých teplotách [8].



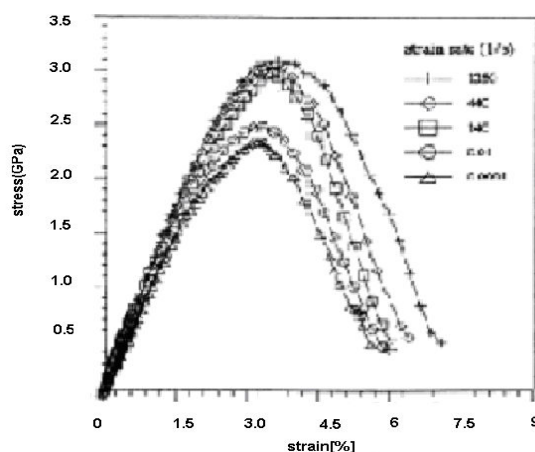
Obr. 6 Tahové křivky skleněných svazků vláken pro různé rychlosti deformace [7]



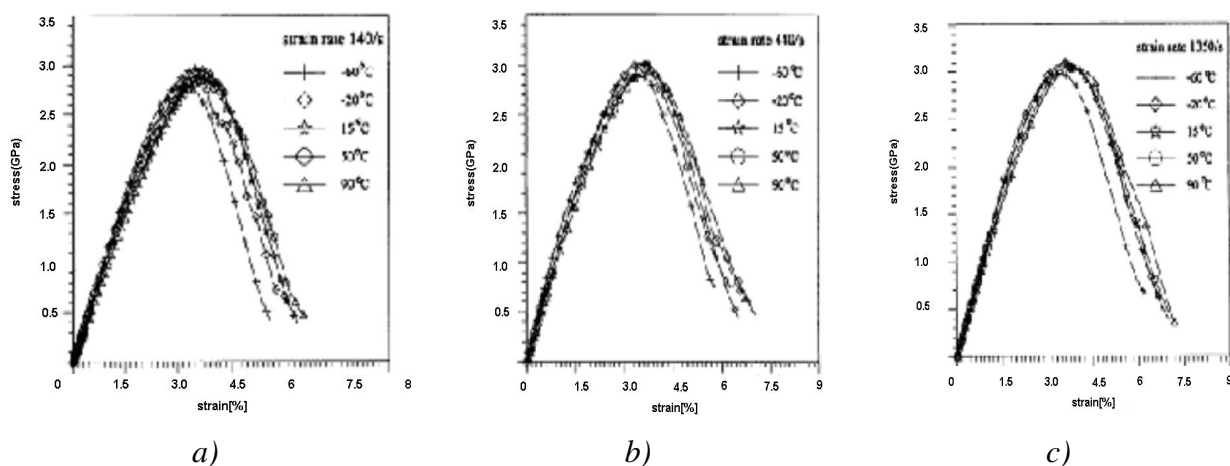
Obr. 7 Tahové křivky skleněných svazků vláken pro různé rychlosti deformace měřené při odlišných teplotách a) 80 °C, b) -70 °C [8]

Z grafů na obr. 6 a 7 je vidět, že se zvyšující se rychlostí deformace vzrůstá pevnost (napětí do přetrhu), tažnost se příliš nemění. Při porovnávání tahových křivek měřených při různých teplotách (obr. 7) je patrné, že při teplotě -70 °C se zvyšuje pevnost, tažnost mění se teplota nijak výrazně neovlivňuje.

Tahové křivky kevlarových svazků vláken [9] jsou znázorněny v grafu na obr. 8. Obr. 9 znázorňuje tahové křivky kevlarových svazků vláken [10] pro rychlosti deformací 140/s, 440/s a 1350/s měřených při rozdílných teplotách.



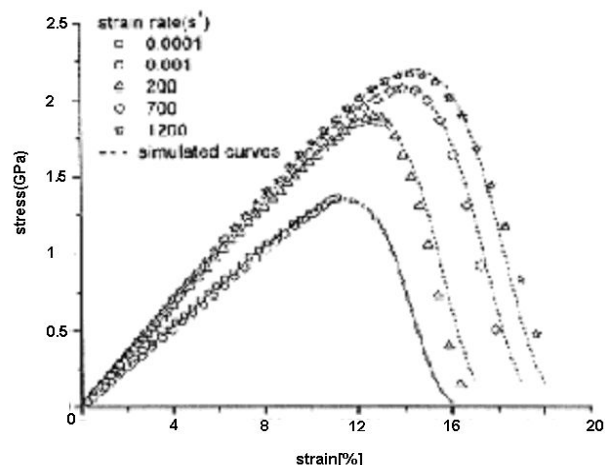
Obr. 8 Tahové křivky kevlarových svazků vláken pro různé rychlosti deformace [9]



Obr. 9 Tahové křivky kevlarových svazků vláken měřené při rozdílných teplotách a rychlostech deformací a) 140/s, b) 440/s, c) 1350/s [10]

Při velmi nízkých rychlostech deformací 0,0001/s, 0,01/s (obr.8) je již patrný pokles pevnosti. Pro kevlarové svazky vláken platí, že rozdílná teplota obr. 9 na křivky výrazný vliv nemá. I zde ze zvyšující se rychlostí deformace roste pevnost (napětí do přetrhu), tažnost mění se rychlost deformace ovlivňuje jen minimálně.

Obr. 10 znázorňuje tahové křivky křemíkových svazků vláken [11] pro různé rychlosti deformace. Z obrázku je patrné, že ze zvyšující se rychlostí deformace se pevnost zvyšuje a tažnost klesá.



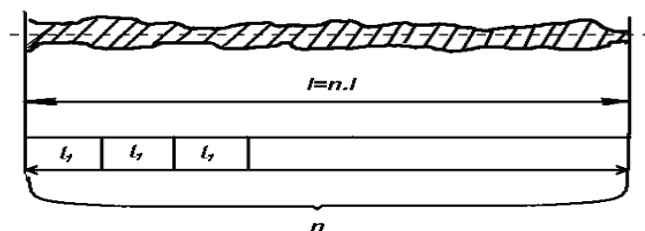
Obr. 10 Tahové křivky křemíkových svazků vláken pro různé rychlosti deformace [11]

2.2.4.1 Vliv upínací délky

K přetrhu jakéhokoli materiálu dochází vždy v nejslabším místě. Trháme-li malý úsek, je pravděpodobnost, že se zde vyskytne slabé místo malá, oproti případu, kdy trháme dlouhý úsek [6]. To znamená, že pevnost téhož materiálu bude při malé upínací délce pravděpodobně větší, než pevnost zjišťovaná na větší upínací délce. Směrodatná odchylka pevnosti bude menší.

Výskyt a rozmístění slabých, nepevných míst je náhodné [2]. Na obr. 11 je znázorněn úsek příze délky l složený z n kratších úseků délky l_1 . Každý úsek l_1 má nějakou hodnotu pevnosti P . Platí:

$$l = n * l_1 \qquad n = \frac{l}{l_1} \qquad (2.25)$$



Obr. 11 Náhodné rozložení různě silných a pevných míst

Vztahy charakterizující rozložení pevnosti poprvé odvodil F.T. Peirce. Za předpokladu, platnosti dvouparametrického Weibullova rozložení platí obecný vztah:

$$\bar{P}_p = P_n \left(\frac{l_n}{l_{(n+1)}} \right)^{1/m} \quad (2.26)$$

Kde \bar{P}_p je střední hodnota pevnosti a m parametr tvaru Weibullova rozložení. Tento vztah je modelem závislosti pevnosti na upínací délce. Neckář [2] tento model upravil do formy (2.27):

$$\bar{P}_N = J + 4,2 \frac{I}{l_n^{1/5}} \quad (2.27)$$

$$\sigma_N = \frac{I}{l_n^{1/5}} \quad (2.38)$$

$$I = \sigma_n \left(l_{(n+1)} \right)^{1/5} \quad J = P_n - (4.2 \sigma_n) \quad (2.29)$$

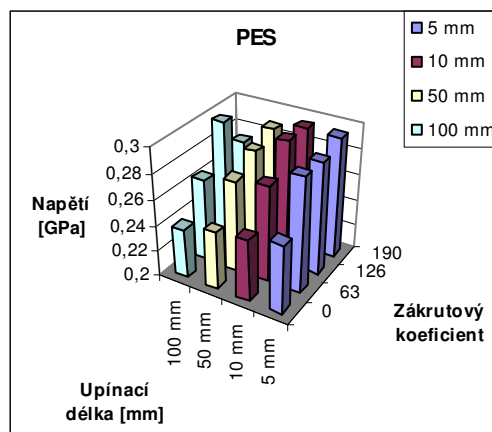
Z těchto vztahů lze vyjádřit střední hodnotu pevnosti \bar{P}_N a směrodatnou odchylku σ_N pevnosti úseků délky l . Další vztahy pro bavlněné příze odvodil podle (2.26) ve své práci Das [12]. Vztahy (2.30) a (2.31) jsou odvozeny pro bavlněnou prstencovou přízi o jemnosti 14,5 tex (použita v experimentu).

$$\bar{P}_D = P_n + 5,53 \sigma_n \left[\left(\frac{l_n}{l_{(n+1)}} \right)^{-1/9.78} - 1 \right] \quad (2.30)$$

$$\sigma_D = \sigma_n \left(\frac{l_n}{l_{(n+1)}} \right)^{-1/9.78} \quad (2.31)$$

Kde \bar{P}_D je střední hodnota pevnosti a σ_D směrodatná odchylka pevnosti.

V práci [13] je studován vztah mezi pevností (napětím do přetrhu) a Köchlinově zákrutovém koeficientu α_k [$\text{m}^{-1} \text{ktex}^{-1/2}$] (viz. kap. 2.2.5.1) v závislosti na zvyšující se upínací délce pro polyesterové svazky vláken. Z převzatých hodnot [13] byl vytvořen třírozměrný graf obr. 12. Nulová hodnota Köchlinova zákrutového koeficientu α_k označuje nezakroucený svazek.

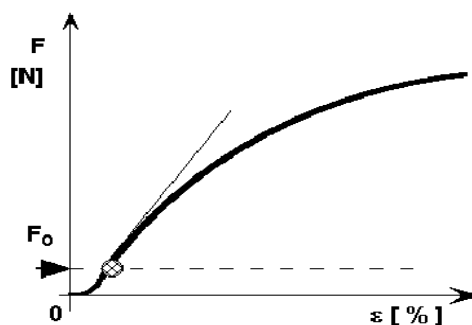


Obr. 12 Třírozměrný graf závislosti napětí na upínací délce a Köchlinově zákrutovém koeficientu pro PES svazky vláken

Z grafu je patrné, že se zvyšující se upínací délkou pevnost (napětí do přetrhu) ve většině případech klesá. S rostoucím zákrutovým koeficientem se napětí do přetrhu ve většině případů zvyšuje.

2.2.4.2 Předpětí

V počátku tahové křivky nevzrůstá síla, resp. napětí lineárně s deformací, neboť se zde projevuje zakřivení způsobené tím, že se uvnitř útvaru vyrovnávají vnitřní síly. Vyrovnává se zvlnění vláken, proklouzávají po sobě volné konce vláken v přízi atd. Pro přesné stanovení deformace, která je závislá na změně délky a počátečního tangentového modul se vkládá před měřením pevnosti na vlákno či přízi předběžná síla F_0 , která se nazývá předpětí [6] (obr. 13). Velikost předpětí je stanovena normou [14]. Přístroj nejprve materiál zatíží na určenou hodnotu a teprve pak začne měřit.



2.2.6 Strukturální vlivy

Mimo faktorů které byly popsány výše má na pevnost a tažnost příze vliv také jemnost příze, technologie výroby (zákrut a s tím související zaplnění). Z hlediska vláken je to pak druh vláken, jemnost a délka.

Nezanedbatelný vliv má také vnitřní uspořádání vláken v přízi. Mezi hlavní faktory ovlivňující pevnost příze patří sklon vláken k ose příze, navlnění vláken, prokluzu a migrace vláken.

2.2.5.1 Vliv sklonu vláken φ

Sklon vláken k ose příze je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících tahovou křivku. Za předpokladu ideálního šroubovicového modelu [2] a malých deformací je poměrné prodloužení vlákna ε_v dáno vztahem

$$\varepsilon_v = \varepsilon_p (\cos^2 \beta - \eta_t \sin^2 \beta) \quad (2.32)$$

kde ε_p je poměrné prodloužení příze, β je úhel sklonu osy vlákna k ose příze (úhel stoupání šroubovice vlákna) a η_t je poměr příčné kontrakce v tečném směru. Za použití dalších předpokladů, tj. všechna vlákna mají stejnou výchozí plochu příčného řezu, stejnou tahovou deformační zákonitost, poměr příčné kontrakce je u všech vláken stejný, co do uspořádání mají všechny elementy vláken na jednom poloměru r stejné hodnoty průmětů do směrů os, poměrné prodloužení každého elementu vlákna (zatíženého i nezatíženého) ve směru osy příze je rovno poměrnému prodloužení příze, je zachována kontinuita vlákna tzn. všechny elementy se protažením příze společně přemístí na nový společný poloměr, ke každému vláknennému elementu se vztahují

poměry příčné kontrakce v tečném a radiálním směru, které jsou navzájem stejně velké rovné hodnotě η (Poissonův poměr příčné kontrakce příze), je odvozen ve [2] vztah

$$\varphi = (1 + \eta_{kor}) \cos^2 \beta_D + \eta_{kor} (\ln \cos^2 \beta_D) / \tan^2 \beta_D \quad (2.33)$$

$$\eta_{kor} = [2(\eta + 2)(r_c / R)^2 - (4 - 3\eta)] / 5 \quad (2.34)$$

kde β_D je úhel stoupání šroubovice povrchových vláken v přízi (viz. obr. 12) a poměr r_c/R charakterizuje tvar křivky radiálního zaplnění.

2.2.5.2 Vliv navlnění vláken ψ

Vliv navlnění na pevnost příze spočívá v tom, že vlákna v přízi, která jsou mezi kontaktními místy navlněna nepřenášejí plně sílu při tahovém namáhání a snižují tak výslednou pevnost. Navlnění je λ definováno vztahem

$$\lambda = l_0 / h - 1 \quad (2.35)$$

kde l_0 je délka vlákna a h je vzdálenost úseku vlákna mezi dvěma kontaktními místy. Pro faktor navlnění ψ je odvozeno:

$$\psi = \frac{1 + \varepsilon_p}{\varepsilon_p} \left[\frac{1 + \bar{\xi}}{1 + 2\bar{\xi}} + \frac{1 + \bar{\xi}}{1 + 2\bar{\xi}} (1 + \varepsilon_p)^{-(2\bar{\xi}+1)/\bar{\xi}} \right] - \frac{1}{\varepsilon_p} \quad (2.36)$$

Pro veličinu $\bar{\xi}$ (mechanicky vyrovnatelné navlnění) je navržen (za předpokladu Paretova rozložení) vztah

$$\bar{\xi} = \xi_0 e^{-K\mu(1-\mu/\mu_m)} \quad (2.37)$$

kde μ_m je mezní zaplnění, ξ_0 a K jsou vhodné konstanty [2].

2.2.5.3 Prokluzu vláken χ

Příze jsou vytvářeny ze staplových vláken tj. vláken určité délky. Při prodlužování příze dochází k postupnému napínání jednotlivých vláken, jejichž konce mohou vůči okolí prokluzovat. Prokluzující konce pak přenášejí menší sílu než ostatní neprokluzující části [2].

Odvození je provedeno na základě působení sil na typické „střední“ vlákno, které leží na poloměru $D/4$ z intervalu $(0; D/2)$, kde D je průměr příze. Za předpokladu lineární závislosti mezi tahovým napětím a prodloužením vlákna platí pro χ vztahy

$$\chi = \frac{\Phi_c}{\Phi} \left\{ 1 - A \left[\frac{(\Phi_c + 1) \ln(\Phi_c + 1)}{\Phi_c} - 1 \right] \right\} \quad (2.38)$$

$$\Phi_c = \min(\Phi, \Phi_{kluz}) \quad (2.39)$$

$$\Phi = (2B / A) \psi \varepsilon_p \quad (2.40)$$

$$\Phi_{kluz} = e^{1/A} - 1 \quad (2.41)$$

$$B = (E / k_p) (d / L) \left[1 / (k_q f) \right] \left(1 - \mu_o^2 / \mu_m^3 \right)^3 / \mu_o^2 \quad (2.42)$$

$$A = [D / (2fL)] \left[4 / (\pi DZ)^2 + 1 \right] \quad (2.43)$$

V uvedených vztazích je E modul pružnosti vlákna, k_p konstanta tlaku, d průměr vlákna, L je přibližně polovina střední délky vláken, konstanta $k_q = 2/\pi$, f součinitel tření vláken.

2.2.5.4 Migrace vláken ω

Součinitel vlivu migrace ω zahrnuje odchylky od šroubovicového uspořádání vláken, které je předpokládáno v předchozích vztazích a je pro něj navržen vztah

$$\omega = k_s * c \quad (2.44)$$

kde k_s je součinitel, který porovnává reálné uspořádání vláken s uspořádáním do šroubovic. Tento součinitel je dán podílem

$$k_s = S_r / S \quad (2.45)$$

kde S_r je reálná součtová plocha vláken v průřezu příze. S je substanční průřez příze (souhrnná plocha vláken v přízi). Dle šroubovicového modelu je definován jako podíl jemnosti příze a hustoty vláken. V případě šroubovicového modelu je veličina k_s rovna jedné. Další vlivy tvarové nepravidelnosti (háčky, smyčky, apod.) jsou zahrnuty do konstanty $c \leq 1$ [2].

2.2.6 Vliv klimatických podmínek na mechanické vlastnosti

Vlastnosti textilních vláken a textilií se mění podle toho jaká je jejich vlhkost. Textilní vlákna jsou schopna přijímat z ovzduší, od lidského těla apod. vlhkost, popř. plyny chemické výpary atd. Tato schopnost se označuje pojmem sorpční vlastnosti. Vlivem vlhkosti vlákna bobtnají, mění se jejich hmotnost, která je důležitá při obchodování a pro stanovení jemnosti. Téměř ve všech případech tažnost se stoupající vlhkostí stoupá a pevnost klesá. Výjimku tvoří přírodní celulózová vlákna, která se stoupající vlhkostí zvětšují svoji pevnost. Naproti tomu velmi podstatně snižují svoji pevnost za mokra vlákna z regenerované celulózy [15].

Standardní klimatické podmínky pro zkoušení vlastností textilií jsou vlhkost vzduchu 65 ± 2 [%], teplota vzduchu 20 ± 2 [$^{\circ}\text{C}$]. Teplota se měří teploměry, vlhkost vlhkoměry (psychrometry) popř. hygrometry [16].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentu byly použity 100%-ní bavlněné česané prstencové příze o jmenovitých jemnostech 7,4 tex, 14,5 tex a polyesterový monofil o jmenovité jemnosti 3,28 tex. Další charakteristiky přízí a monofilu viz. tab.1 byly převzaty z práce [17].

	Jemnost jmenovitá [tex]	Jemnost naměřená [tex]	Počet zákrutů [1/m]	Zaplnění příze [-]	Průměr příze [mm]	Druh suroviny	Délka vlákna [mm]	Jemnost vlákna [dtex]
100% CO	7,4	7,36	1146	0,447	0,108	M II	29,65	0,174
100% CO	14,5	14,39	1126	0,395	0,158	A 1	30,21	0,188
100% PES	3,28	/	/	/	/	/	/	/

Tab.1 Základní parametry přízí a monofilu

Tahové zkoušky byly provedeny na přístroji Tira Test 2300 pracující na principu konstantního přírůstku deformace viz. kap. (2.2.1). Trhací přístroj je připojen k počítači, kde je instalován speciální program LaborTest v.3, který naměřené hodnoty automaticky zpracovává. Tímto programem byly získány hodnoty pevností [N], relativních pevností [cN/tex], tažností [%], rychlostí deformace [mm/min], modulů pružnosti [MPa], práce do přetrhu [J], času [s], prodloužení [mm]. Dále grafický záznam průběhu závislosti tahové síly na prodloužení pro jednotlivá měření.

Před vlastním měřením se podle normy [14] zadávají vstupní údaje kterými jsou: Upínací délka [mm], rychlost posuvu příčnicku [mm/min], předpětí [N] (pro přízi 7,4 tex – 0,04 N, 14,5 tex – 0,07 N, polyester – 0,02 N). Dále pak jemnost (pro výpočet poměrné pevnosti) [tex] a rychlost do předpětí [mm/min] (pro všechny materiály 10 mm/min).

Pro bavlněnou přízi byly zvoleny upínací délky: 10, 50, 100, 250, 500 mm. Na každé jednotlivé upínací délce bylo provedeno přibližně 50 měření při pěti rozdílných rychlostech deformace 10, 50, 100, 250, 500 mm/min. Stejný postup byl použit také pro polyesterové hedvábí, kde byly zvoleny upínací délky 50, 100, 250, 375, 500 mm při rychlostech deformace 50, 100, 250, 375, 500 mm/min. Průměrné hodnoty jednotlivých parametrů (relativní pevnost, tažnost, modul pružnosti atd.) z přibližně 50-ti trhů byly zapsány do tabulek 5×5, (jedno okno tabulky – průměr z 50-ti trhů) kde se v podélném směru zvyšuje rychlost posuvu příčnicku a ve svislém směru upínací délka viz. tab. 3.

Při měření byly zachovány standardní klimatické podmínky (viz. kap. 2.2.6). V těchto podmínkách byly materiály také skladovány.

3.1 Rychlost deformace

Podle vztahu (2.20) viz. kap. 2.2.4 byla vytvořena tab. 2. Hodnoty v tabulce jsou podílem rychlosti posuvu příčnicku ku upínací délce, tj. teoretická rychlost deformace.

	teoretická rychlost deformace [1/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	1	5	10	25	50
50	0,2	1	2	5	10
100	0,1	0,5	1	2,5	5
250	0,04	0,2	0,4	1	2
500	0,02	0,1	0,2	0,5	1

Tab. 2 Teoretická rychlost deformace [1/min]

Skutečná rychlost deformace se odchyluje od rychlosti nastavené v závislosti na vzrůstající rychlosti příčnicku jak ukazují hodnoty v tab. 3 a 4.

Příze 7,4 tex	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	9,36	46,8	89,08	197,27	322,22
50	9,42	48,68	95	223,94	396,71
100	9,54	49,13	98,83	234,99	432,36
250	9,49	49,2	99,43	246,08	456,15
500	8,79	49,09	99,69	247,4	475,49
Příze 14,5 tex	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	9,53	46,7	89,49	197,18	325,71
50	9,53	49,01	96,09	227,13	405,48
100	9,64	49,38	99,03	237,22	434,11
250	9,36	49,24	99,53	246,69	460,65
500	9,71	49,07	99,57	247,67	476,39

Tab. 3 Skutečné rychlosti příčnicku v [mm/min] pro bavlněnou přízi o jemnosti 7,4 a 14,5 tex

PES monofil	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	50	100	250	375	500

50	50,17	99,89	248,36	364,92	467,6
100	49,68	99,86	248,93	367,91	477,21
250	49,7	99,97	249,53	368,94	480,04
375	49,98	100,48	249,78	369,21	480,56
500	49,68	99,86	249,65	369,35	480,87

Tab. 4 Skutečné rychlosti příčnicku v [mm/min] pro polyesterový monofil

Hodnoty skutečné rychlosti deformace jsou ve většině případů nižší. Podle normy [14] je tolerance pro rychlost deformace $\pm 2\%$, což splňují zvýrazněné příze (monofily). V tabulce 5 jsou vypočítány skutečné rychlosti deformace ku upínací délce. Tabulka 6 obsahuje časy trhů v [s].

Příze 7,4 tex	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	0,936	4,680	8,908	19,727	32,222
50	0,188	0,974	1,900	4,479	7,934
100	0,095	0,491	0,988	2,350	4,324
250	0,038	0,197	0,398	0,984	1,825
500	0,018	0,098	0,199	0,495	0,951
Příze 14,5 tex	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	0,953	4,670	8,949	19,718	32,571
50	0,191	0,980	1,922	4,543	8,110
100	0,096	0,494	0,990	2,372	4,341
250	0,037	0,197	0,398	0,987	1,843
500	0,019	0,098	0,199	0,495	0,953
PES monofil	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	50	100	250	375	500
50	1,003	1,998	4,967	7,298	9,352
100	0,497	0,999	2,489	3,679	4,772
250	0,199	0,400	0,998	1,476	1,920
375	0,133	0,268	0,666	0,985	1,281
500	0,099	0,200	0,499	0,739	0,962

Tab. 5 Skutečné rychlosti deformace ku upínací délce [l/min]

Příze 7,4 tex	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	6,26	1,27	0,66	0,34	0,23
50	15,57	3,01	1,59	0,70	0,42
100	27,49	5,44	2,78	1,23	0,73

250	61,29	12,42	6,11	2,55	1,39
500	129,05	22,05	11,33	4,96	2,62
Příze 14,5 tex	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	6,61	1,36	0,7	0,34	0,23
50	18,05	3,60	1,84	0,79	0,47
100	33,22	6,65	3,35	1,44	0,76
250	73,32	14,46	7,58	3,08	1,70
500	138,73	27,54	13,97	5,56	2,94
PES monofil	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	50	100	250	375	500
50	19,32	10,31	4,5	2,58	1,97
100	38,68	19,09	6,72	5,3	3,36
250	76,97	41,11	17,96	11,73	8,59
375	116,96	58,15	24,58	15,00	11,71
500	161,87	72,96	28,59	16,15	14,24

Tab. 6 Časy trhů v [s]

Jak je z tabulky 6 patrné se zvyšující se rychlostí deformace se snižuje čas za který se příze (monofil) přetrhne a s tím související i rychlost deformace (viz. tab.3 a 4). Při upínací délce 10 mm a rychlosti deformací 100 – 500 mm/min, dále při upínací délce 100 mm a rychlostech 250 a 500 mm/min atd. (zvýrazněné hodnoty) jsou u bavlněných přízí, časy a hodnoty rychlostí deformací (viz. tab.3 a 4) velmi nízké. Naopak při nízkých rychlostech a větších upínacích délkách potřebuje příze (monofil) k přetržení více času (zvýrazněné hodnoty – upínací délka 250, 375, 500 mm, při rychlosti 10, 50 mm/min).

Vlákna v bavlněné přízi mají průměrnou délku přibližně 30 mm. Při měření na upínací délce 10 mm pravděpodobně dochází k tomu, že jsou v čelistech přístroje upnuty oba konce vlákna, což by se mohlo přibližovat k tahové zkoušce pro vlákenné svazky, kde platí jiný mechanismus přetrhu.

3.2 Zjišťování vlivu rychlosti deformace a upínací délky na relativní pevnost, tažnost, modul pružnosti

V této kapitole budou pomocí dvoufaktorové analýzy rozptylu shrnuty a popsány vzájemné závislosti mezi upínací délkou a rychlostí deformace, tzn. že bude

sledován vliv zvyšující se rychlosti deformace a upínací délky na relativní pevnost, tažnost, modul pružnosti přízí a polyesterových monofilů. Naměřené hodnoty relativních pevností, tažností, modulů pružnosti jsou uvedeny v tab. 7-10. Pro lepší představu jsou hodnoty z tabulek vyneseny v třírozměrných grafech obr. 14-19. Konfidenční intervaly, směrodatné odchylky a variační koeficienty pro relativní pevnosti a tažnosti a moduly pružnosti přízí a monofilů (včetně zobrazení závislosti v třírozměrných grafech) jsou obsaženy v příloze č.1.

Rel. pevn. [cN/tex]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	22,71	24,08	22,6	22,89	22,72
50	18,18	19,64	19,36	20,6	22,51
100	17,37	18,53	20,12	21,43	22,91
250	16,32	18,06	18,21	19,91	20,56
500	16,49	15,98	16,66	19,32	19,95
Tažnost [%]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	8,81	8,86	8,52	9,18	9,28
50	4,67	4,74	4,81	4,87	5
100	4,25	4,4	4,53	4,64	4,95
250	3,83	4,04	4,03	4,14	4,1
500	3,74	3,57	3,75	4,08	4,12
Modul pruž. [MPa]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	28,55	30,67	27,07	19,59	18,36
50	35,9	38	36,03	35,27	35,95
100	36,36	36,53	37,54	37,85	36,27
250	34,25	35,94	36,72	38,59	40,93
500	34,57	33,93	32,46	42,35	42,18

Tab. 7 Relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti pro bavlněnou přízi o jemnosti 7,4 tex

Rel. pevn. [cN/tex]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	13,87	14,73	14,79	15,35	14,02
50	12,94	14,01	14,17	14,46	14,24
100	12,28	13,35	14,18	14,56	14,19
250	11,44	12,48	13,19	13,79	14,48
500	10,85	11,93	12,11	12,72	13,19
Tažnost [%]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500

10	9,12	9,35	9,06	9,22	9,57
50	5,44	5,69	5,63	5,61	5,81
100	5,21	5,36	5,44	5,46	5,18
250	4,5	4,71	5	5,04	5,06
500	4,45	4,49	4,62	4,33	4,63
Modul pruž. [MPa]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	42,11	40,77	35,89	28,38	22,32
50	40,89	45,27	46,93	47,89	42,46
100	41,95	47,27	48,89	49,32	49,15
250	40,72	46,64	42,29	47,46	50,84
500	41,52	45,4	40,5	44,24	45,13

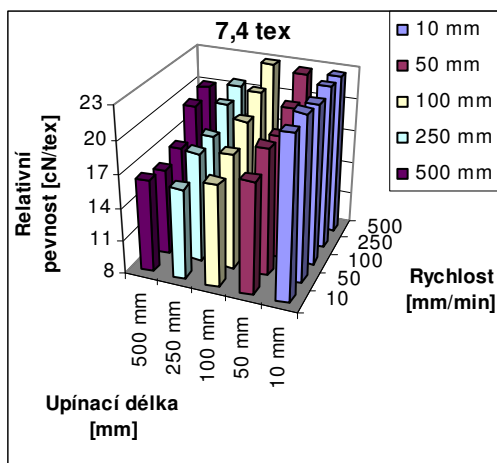
Tab. 8 Relativní pevnosti tažnosti a moduly pružnosti pro bavlněnou přízi o jemnosti 14,5 tex

Rel. pevn. [cN/tex]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	50	100	250	375	500
50	37,59	38,91	41,81	40,63	40,64
100	37,14	38,85	37,72	40,82	38,85
250	35,68	37,49	40,4	40,46	40,08
375	38,68	40,29	43,11	42,15	42,52
500	35,59	34,97	35,43	35,67	36,38
Tažnost [%]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	50	100	250	375	500
50	32,15	34,17	37,07	31,17	30,34
100	31,88	31,66	27,75	32,4	26,56
250	25,42	27,31	29,77	28,78	27,39
375	25,87	25,9	27,17	24,5	24,9
500	26,74	24,23	23,72	19,75	22,76

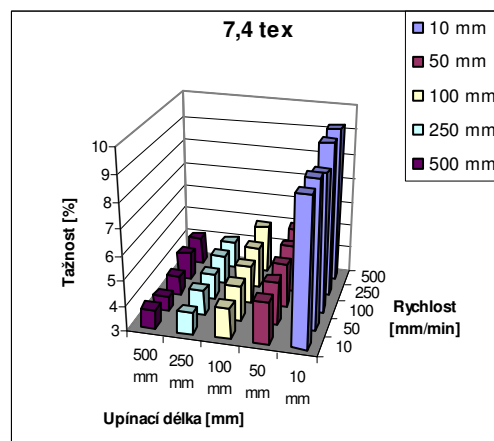
Tab.9 Relativní pevnosti a tažnosti pro polyesterový monofil

Modul pruž. [MPa]	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]				
up. délka [mm]	10	50	100	250	500
10	28,55	30,67	27,07	19,59	18,36
50	35,9	38	36,03	35,27	35,95
100	36,36	36,53	37,54	37,85	36,27
250	34,25	35,94	36,72	38,59	40,93
500	34,57	33,93	32,46	42,35	42,18

Tab.10 Moduly pružnosti pro polyesterový monofil

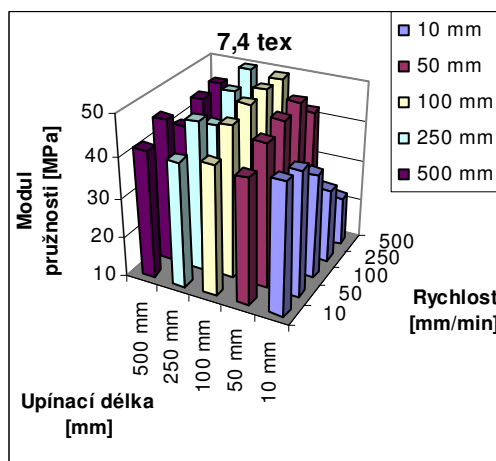


a)

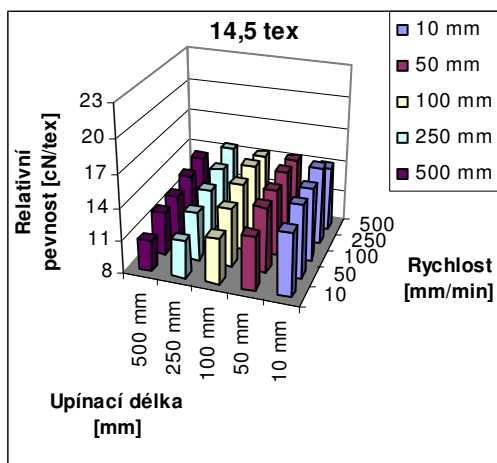


b)

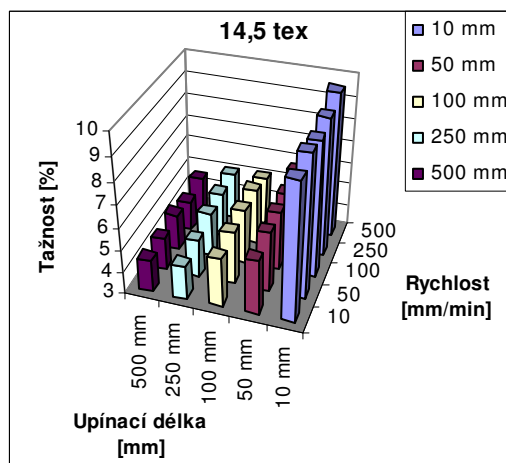
Obr.14 Třírozměrné grafy závislosti a) relativních pevností, b) tažností na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro bavlněnou přízi o jemnosti 7,4 tex



Obr.15 Třírozměrný graf závislosti modulů pružnosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro bavlněnou přízi o jemnosti 7,4 tex

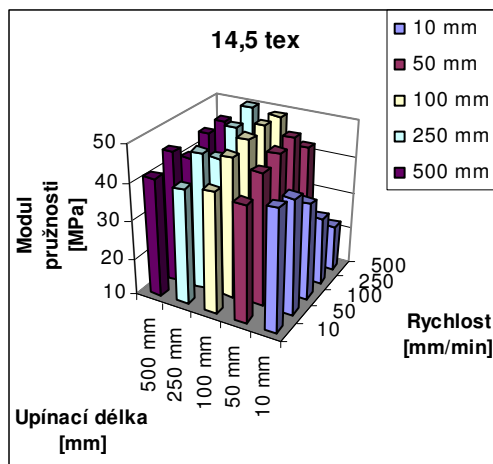


a)

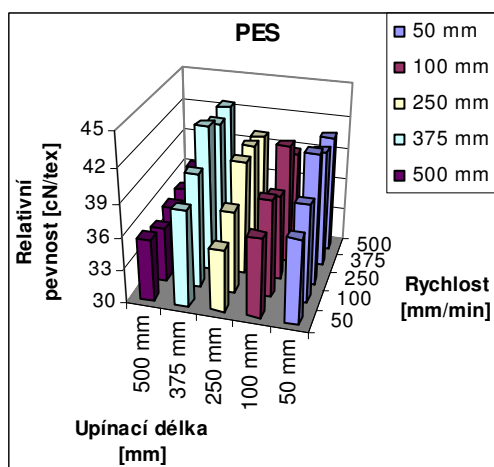


b)

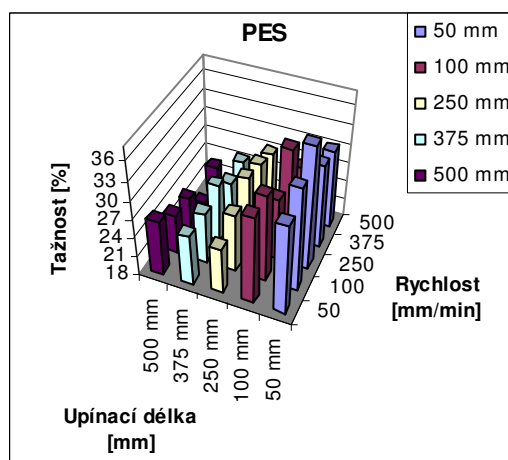
Obr.16 Třírozměrné grafy závislosti a) relativních pevností, b) tažností na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro bavlněnou přízi o jemnosti 14,5 tex



Obr.17 Třírozměrný graf závislosti modulů pružnosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro bavlněnou přízi o jemnosti 14,5 tex

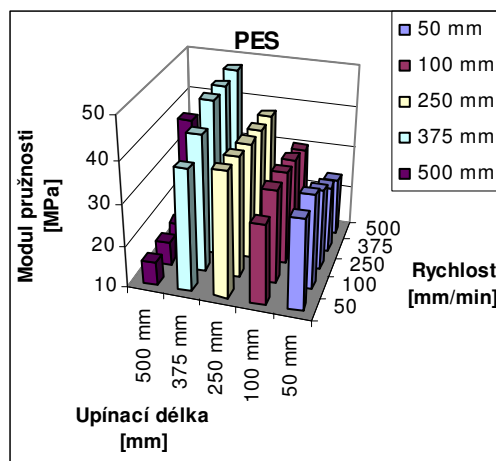


a)



b)

Obr.18 Třírozměrné grafy závislosti a) relativních pevností, b) tažností na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro polyesterový monofil



Obr. 19 Třírozměrný graf závislosti modulů pružnosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro polyesterový monofil

3.2.1 Analýza rozptylu

Pomocí analýzy rozptylu bude zjišťován vliv rychlosti deformace (faktor A) a upínací délky (faktor B) na relativní pevnost, tažnost, modul pružnosti přízí a polyesterových monofilů a porovnána významnost těchto vlivů.

Analýza rozptylu se používá buď jako samostatná technika nebo jako postup umožňující analýzu zdrojů variability v lineárních statistických modelech. Ze statistického hlediska lze analýzu rozptylu chápat jako speciální případ regresní analýzy. V technické praxi se analýza rozptylu uplatňuje v úlohách:

- Určení významnosti způsobu přípravy vzorků na výsledek analýzy, resp. experimentu.
- Určení vlivu typu přístroje, lidského faktoru a obsluhy na výsledek měření.
- Zpracování mezilaboratorních experimentů a určení významnosti rozdílů mezi laboratořemi na výsledek analýz.
- Zpracování plánovaných experimentů, u kterých se systematicky sleduje vliv rozličných faktorů (teploty, času, koncentrace a dalších) na výsledek reakce či analýzy [18]. Při třídění podle jednoho faktoru (jednofaktorová analýza rozptylu) zkoumáme

jeho vliv na výsledek experimentu. Pro případ dvou úrovní jde o porovnání dvou výběrů (dvoufaktorová analýza rozptylu).

Pokud jsou efekty obou faktorů pevné (tzn. že sledujeme pouze rozdíly mezi danými efekty) nebo náhodné, jde o modely s pevnými nebo náhodnými efekty. Pro stejný počet opakování se experimenty označují jako vyvážené, pro nestejný počet opakování jako experimenty nevyvážené.

Dvoufaktorová analýza rozptylu

Experimenty se provádí na různých úrovních dvou faktorů A a B . Kombinace úrovní faktorů tvoří typickou mřížkovou strukturu, jejímž elementem je tzv. cela. Platí, že (i,j) -tá cela odpovídá kombinaci úrovně A_i faktoru A a B_j faktoru B . Schématicky je mřížková struktura znázorněna v tab.11. V každé cela je obecně n_{ij} pozorování [18].

	B_1	B_2	B_M
A_1
A_2	.	<i>Cela $A_2 B_2$</i>
.
.
.
A_N

Tab.11 Mřížková struktura pro kombinaci faktorů A a B

Obecný model analýzy rozptylu pro případ více opakování (v jedné cele je více hodnot) je vyjádřen rovnicemi:

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.1)$$

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_{ij} \quad (3.2)$$

Kde y_{ijk} je výsledek měření, μ_{ij} skutečná „teoretická“ hodnota výsledků analýzy, ε_{ijk} náhodná chyba (předpokládá se, že rozdělení chyb je normální). Kromě řádkových α_i a

sloupcových β_i efektů se zde vyskytuje také interační člen τ_{ij} , který je důsledkem různých kombinací sloupcových a řádkových efektů.

Vyvážené modely (ANOVA#2B)

Jedná se o modely s pevnými efekty, kde v každé cele je $n_{ij} = n$ pozorování. Model analýzy rozptylu je zde vyjádřen rovnicemi (3.1) a (3.2). Odhadem μ_{ij} jsou aritmetické průměry

$$\hat{\mu}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (3.3)$$

Pro odhady ostatních parametrů se použijí vztahy, kde N je počet sloupců, M počet řádků, \hat{e}_{ijk} reziduální (zbytkový) rozptyl, $\hat{\tau}_{ij}$ odhad interakcí [18].

$$\hat{\mu} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\mu}_{ij} \quad (3.4)$$

$$\hat{\alpha}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} \quad (3.5)$$

$$\hat{\beta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} \quad (3.6)$$

$$\hat{e}_{ijk} = y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j \quad (3.7)$$

$$\hat{\tau}_{ij} = \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j \quad (3.8)$$

V regresní analýze je nejužívanější metoda nejmenších čtverců. Jednotlivé součty čtverců odchylek a složky rozptylu se zapisují do tabulky, která má pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu s pevnými efekty tvar, který je uveden v tab. 12.

<i>Součet čtverců pro</i>	<i>Stupně volnosti</i>	<i>Průměrný čtverec</i>	<i>F-kritérium</i>
<i>Faktor A</i> $S_A = nM \sum_{i=1}^N \hat{\alpha}_i^2$	$N - 1$	$M_A = \frac{S_A}{N - 1}$	$F_A = \frac{M_A}{M_R}$
<i>Faktor B</i> $S_B = nM \sum_{j=1}^M \hat{\beta}_j^2$	$M - 1$	$M_B = \frac{S_B}{M - 1}$	$F_B = \frac{M_B}{M_R}$

<i>Interakce AB</i>			
$S_{AB} = n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\epsilon}_{ij}^2$	$(N-1)(M-1)$	$M_{AB} = \frac{S_{AB}}{(N-1)(M-1)}$	$F_{AB} = \frac{M_{AB}}{M_R}$
<i>Reziduální</i> $S_R = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \hat{\mu}_{ij})^2$	$MN(n-1)$	$M_R = \frac{S_R}{MN(n-1)}$	---
<i>Celkový</i> $S_C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \hat{\mu})^2$	$MNn-1$	---	---

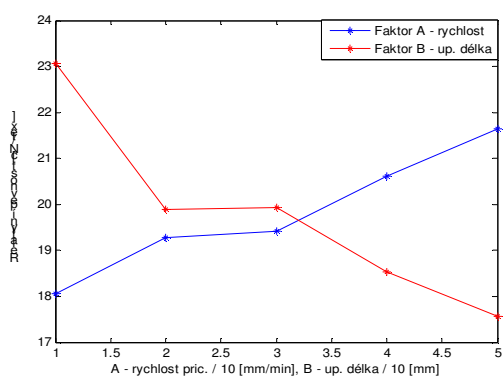
Tab. 12 Analýza rozptylu pro dvojné třídění a vyvážený experiment

Faktor *A* značí sloupcové efekty (rychlost posuvu příčnicku), faktor *B* řádkové efekty (upínací délka). V druhém sloupci je součet všech čtvercových odchylek faktoru *A* a *B*, jejich vzájemná interakce (souvztah) a součet reziduální a celkový. Využitím statistik F_A , F_B se testuje, zda je možné považovat sloupcové a řádkové efekty, popř. interakce F_{AB} za nevýznamné. Nevychýleným odhadem je reziduální rozptyl M_R , který bere v úvahu vnější (neuvažované) vlivy.

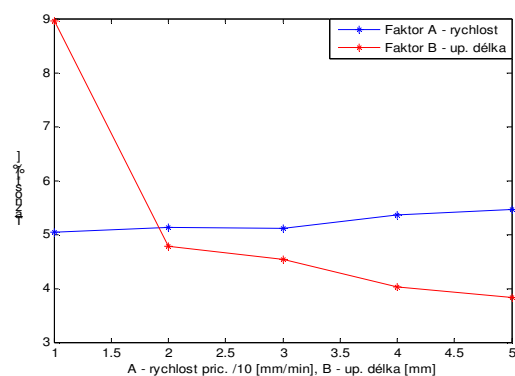
Podle tab. 12 byly vytvořeny tabulky 13-15. Podle těchto tabulek lze porovnávat vliv rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti bavlněných přízí (7,4 tex, 14,5 tex) a polyesterového monofilu. Porovnáním hodnot průměrných čtverců M_A a M_B s reziduálním rozptylem M_R lze pomocí F-kritérií faktorů *A* a *B*, popř. jejich vzájemných interakcí (podle jejich velikosti) určit, zdali je či není daný vliv významný. Podle grafů 20-23 lze sledovat jak se mění relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti měřených materiálu v závislosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce. Jeden bod v grafu značí průměr z pěti průměrných hodnot relativní pevnosti (tažnosti, modulů pružnosti) pro jednu upínací délku (rychlost posuvu příčnicku).

3.2.1.1 Porovnání vlivu rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti pro přízi jemnosti 7,4 tex

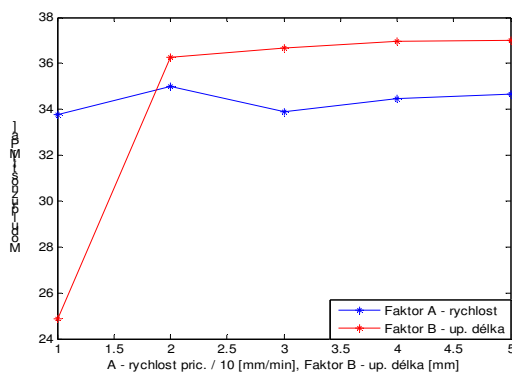
Z grafů na obr. 20a-c je vidět, že ze zvyšující se upínací délkou klesá relativní pevnost i tažnost. Modul pružnosti je pro všechny upínací délky přibližně stejný, mimo první upínací délky, kde je výrazně nižší (zde platí zřejmě jiný mechanismus přetrhu viz. kap. 3.1). Ze zvyšující se rychlostí posuvu příčnicku se relativní pevnost zvyšuje, tažnost a modul pružnosti zvyšující se rychlost posuvu příčnicku ovlivňuje jen minimálně.



a)



b)



c)

Obr. 20 Grafy pro porovnání závislosti a) relativní pevnosti, b) tažnosti, c) modulů pružnosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro přízi o jemnosti 7,4 tex

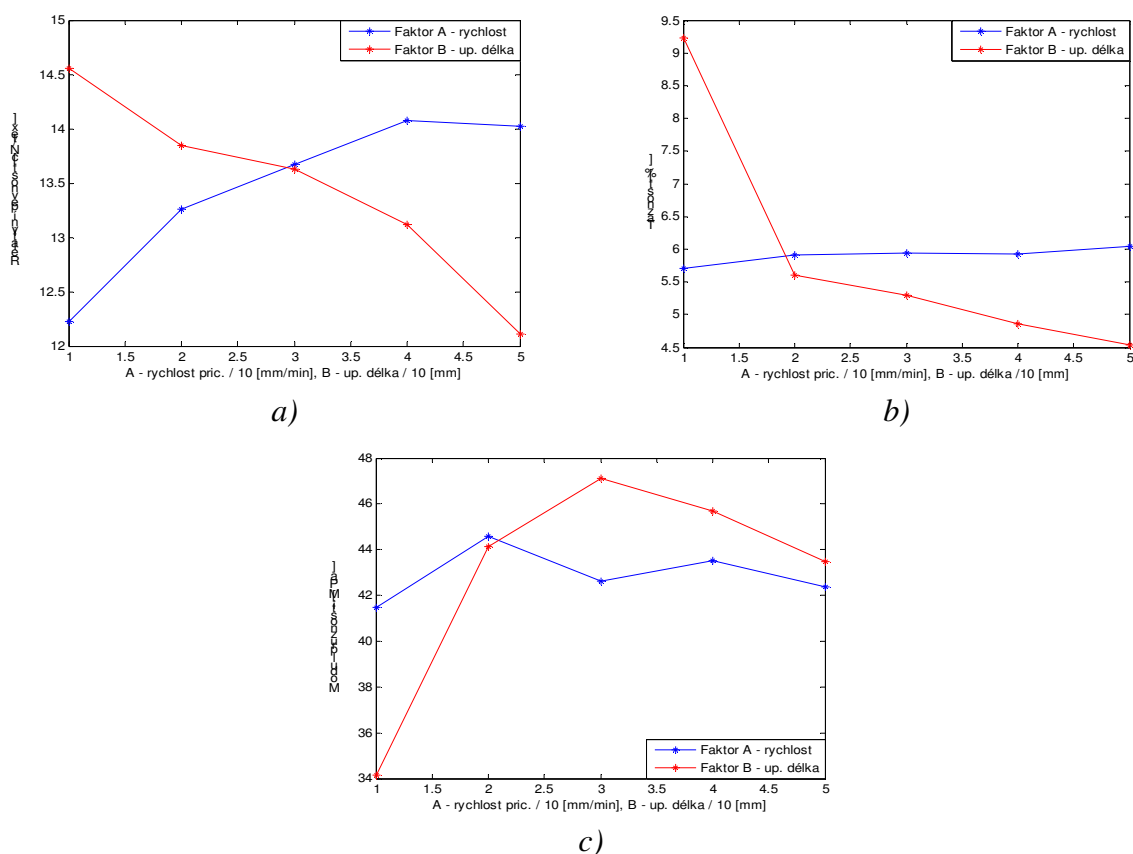
Podle velikosti F-kritérií (tab. 13) lze říci, že zvyšující se rychlost posuvu příčnicku má na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti menší vliv než upínací délka. Jejich vzájemné interakce jsou minimální. Lze tedy tvrdit, že zvyšující se upínací délka má významnější vliv na relativní pevnost a tažnost (největší vliv) a modul pružnosti než rychlost posuvu příčnicku, ale oba vlivy lze hodnotit jako významné.

Rel. pevnost	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	1686,6	4	421,644	71,29	0
B - up. délka	3870,8	4	967,7	163,62	0
Interakce AB	726,5	16	45,408	7,68	0
Reziduální	6505,6	1100	5,914		
Celkový	12789,5	1124			
Tažnost	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	28,97	4	7,24	24,07	0
B - up. délka	4031,5	4	1007,87	3350,58	0
Interakce AB	14,48	16	0,9	3,01	0,0001
Reziduální	330,89	1100	0,3		
Celkový	4405,82	1124			
Modul pruž.	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	244,4	4	61,09	2,62	0,0337
B - up. délka	25318,4	4	6329,6	271,3	0
Interakce AB	10938,1	16	683,63	29,3	0
Reziduální	25664,1	1100	23,33		
Celkový	62165	1124			

Tab. 13 Porovnání závislosti faktorů A a B pro přízi o jemnosti 7,4 tex

3.2.1.2 Porovnání vlivu rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti pro přízi jemnosti 14,5 tex

Pro příze jemnosti 14,5 tex (viz. obr. 21a-c) platí, že ze zvyšující se upínací délkou klesá relativní pevnost i tažnost, modul pružnosti nejprve stoupá (při upínací délce 250 mm je nejvyšší) pak se snižuje. I zde platí předpoklad jiného mechanismu přetrhu při upínací délce 10 mm (viz. kap. 3.2.1.1). Ze zvyšující se rychlostí posuvu příčnicku se relativní pevnost zvyšuje, hodnoty tažností a modulů pružnosti zůstávají přibližně stejné.



Obr. 21 Grafy pro porovnání závislosti a) relativní pevnosti, b) tažnosti, c) modulů pružnosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro přízi o jemnosti 14,5 tex

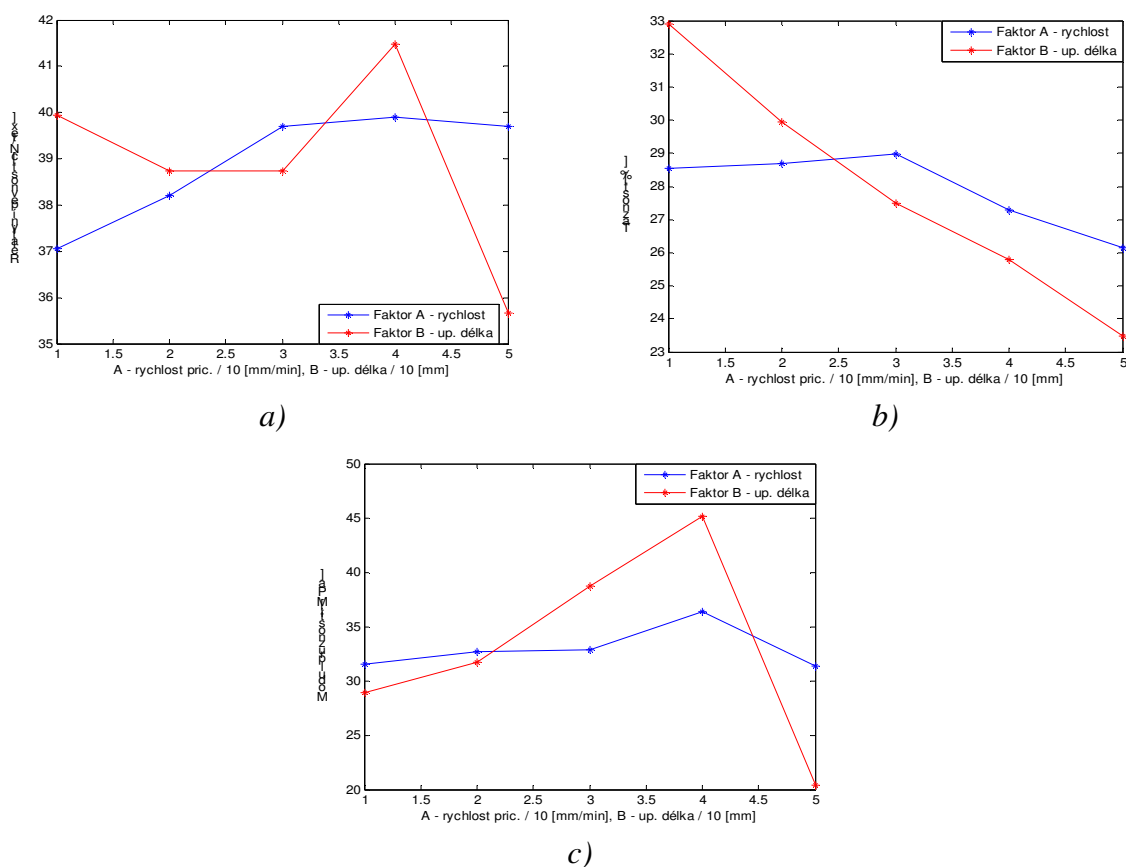
Podle tab. 14 (po porovnání F-kritérií) je vidět výraznější vliv zvyšující se upínací délky (zvláště pro tažnost). Vliv zvyšující se rychlosti posuvu příčnicku nejvíce ovlivňuje hodnoty relativních pevností. Tažnosti a moduly pružnosti ovlivňuje jen minimálně. I přesto lze zhodnotit vliv upínací délky a rychlosti posuvu příčnicku jako významné.

Rel. pevnost	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	469,04	4	117,261	62,78	0
B - up. délka	680,94	4	170,236	91,14	0
Interakce AB	144,59	16	9,037	4,84	0
Reziduální	1867,81	1000	1,868		
Celkový	3162,39	1024			
Tažnost	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	12,86	4	3,216	10,56	0
B - up. délka	2971,09	4	742,773	2438,44	0
Interakce AB	17,66	16	1,104	3,62	0
Reziduální	304,61	1000	0,305		
Celkový	3306,23	1024			
Modul pruž.	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	1141,7	4	285,42	8,78	0
B - up. délka	21347	4	5536,76	164,24	0
Interakce AB	19358,3	16	1209,89	37,23	0
Reziduální	32493,4	1000	32,49		
Celkový	74340,4	1024			

Tab. 14 Porovnání závislosti faktorů A a B pro přízi o jemnosti 14,5 tex

3.2.1.3 Porovnání vlivu rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti pro polyesterový monofil

Z grafů na obr. 22a-c je patrné, že se zvyšující se upínací délkou relativní pevnost polyesterového monofilu nejprve klesá, potom se ale (při upínací délce 375 mm) prudce zvýší a následně opět klesá. Tažnost se výrazně snižuje, hodnoty modulů pružnosti jsou nejvyšší při upínací délce 375 mm. Při zvyšující se rychlosti posuvu příčnicku se relativní pevnost zvyšuje, tažnost je až do rychlosti 250 mm/min přibližně stejná, pak se výrazně snižuje. Vliv rychlosti posuvu příčnicku na modul pružnosti je minimální.



Obr. 22 Grafy pro porovnání závislosti a) relativní pevnosti, b) tažnosti, c) modulů pružnosti na rychlosti posuvu příčnicku a upínací délce pro polyesterový monofil

V tab. 15 je vidět, že zvyšující se rychlost posuvu příčnicku má na relativní pevnost, tažnost a modul pružnosti polyesterového monofilu menší vliv než upínací

délka. Největší vliv upínací délky lze vidět u modulů pružnosti, pro relativní pevnost a tažnost je již vliv upínací délky menší. Oba vlivy lze zhodnotit jako významné.

Rel. pevnost	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	1233,2	4	308,295	55,25	0
B - up. délka	3654,2	4	913,544	163,71	0
Interakce AB	747,7	16	46,73	8,37	0
Reziduální	5440,6	975	5,58		
Celkový	11705,7	999			
Tažnost	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	1148,7	4	287,17	15,26	0
B - up. délka	10656,9	4	2664,24	141,57	0
Interakce AB	3319,8	16	207,49	11,03	0
Reziduální	18349	975	18,82		
Celkový	33474,4	999			
Modul pruž.	Součet čtverců	St.volnosti	Prům.čtverec	F-kritérium	Pravděpod.
A - rychlost	3225,2	4	806,3	132,9	0
B - up. délka	71358,9	4	17839,7	2940,42	0
Interakce AB	16695,3	16	1043,5	171,99	0
Reziduální	5915,4	975	6,1		
Celkový	97194,8	999			

Tab. 15 Porovnání závislosti faktorů A a B pro polyesterový monofil

3.2.1.4 Celkové porovnání

Pro všechny bavlněné příze platí, že ze zvyšující se upínací délkou klesá relativní pevnost a tažnost. Hodnoty modulů pružnosti zvyšující se upínací délka ovlivňuje jen minimálně (výjimkou je upínací délka 10 mm viz. výše). Ze zvyšující se rychlostí posuvu příčnicku (pro bavlněné příze) se relativní pevnost zvyšuje, tažnost a moduly pružnosti zvyšující se rychlost posuvu příčnicku výrazně neovlivňuje.

Polyesterový monofil má v porovnání s bavlněnými přízemi přibližně stejný trend, ale díky tomu, že měřený materiál nebyl příliš homogenní jsou zde některé skokové změny. Celkově lze říci, že vliv upínací délky a vliv rychlosti posuvu příčnicku na relativní pevnost, tažnost a moduly pružnosti pro bavlněné příze i polyesterový monofil je významný.

3.2.2 Závislost relativní pevnosti na rychlosti deformace

V předcházející kapitole byl zkoumán vliv zvyšující se rychlosti deformace na relativní pevnost. Bylo zjištěno, že vliv je významný. Nyní se bude pomocí modelu (2.24) viz. kap. 2.2.4 hledat funkční závislost mezi rychlostí deformace a relativní pevností. Vztah (2.24) je možno nahradit polynomem druhého stupně.

$$\begin{aligned} f\left(\frac{v_{\varepsilon}}{v_{\varepsilon 0}}\right) &= A \ln v_{\varepsilon} + B \\ \lambda\left(\frac{v_{\varepsilon}}{v_{\varepsilon 0}}\right) &= A_1 \ln v_{\varepsilon} + B_1 \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$P = (1 + A \ln v_{\varepsilon} + B)(1 + A_1 \ln v_{\varepsilon} + B_1) P_0 \quad (3.10)$$

$$P = K + K_1 \ln v_{\varepsilon} + K_2 (\ln v_{\varepsilon})^2 \quad (3.11)$$

Kde koeficienty K , K_1 a K_2 byly vypočítány podle následujících vztahů.

$$K = \frac{(1+B)(1+B_1)}{P_0} \quad (3.12)$$

$$K_1 = \frac{A + A_1 B + A_1 + A B_1}{P_0} \quad (3.13)$$

$$K_2 = \frac{A_1 A}{P_0} \quad (3.14)$$

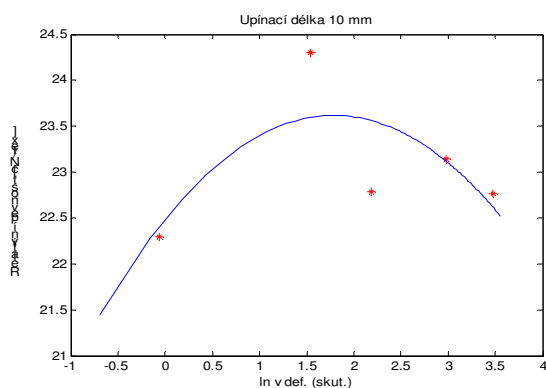
Metodou nejmenších čtverců byly podle (3.11) vypočítány koeficienty K , K_1 , K_2 .

7,4 tex	K	K ₁	K ₂	14,5 tex	K	K ₁	K ₂	Pes	K	K ₁	K ₂
---------	---	----------------	----------------	----------	---	----------------	----------------	-----	---	----------------	----------------

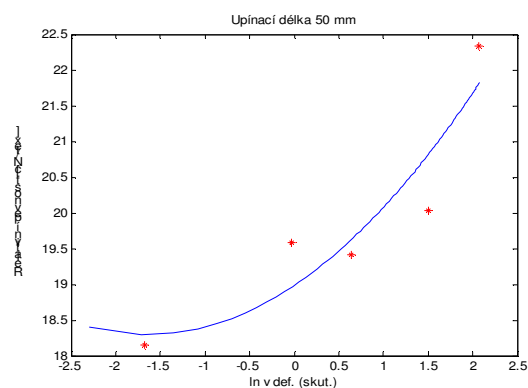
up.délka				up.délka				up.délka			
10 mm	-0,352	1,260	22,488	10 mm	-0,307	1,242	13,761	50 mm	-1,588	5,095	37,107
50 mm	0,254	0,839	18,986	50 mm	-0,149	0,441	13,913	100 mm	-0,099	0,759	38,372
100 mm	0,256	1,648	19,721	100 mm	-0,117	0,431	13,894	250 mm	-0,602	1,509	39,679
250 mm	0,097	1,324	19,645	250 mm	0,055	0,936	13,936	375 mm	-1,033	-0,043	42,690
500 mm	0,460	2,868	20,297	500 mm	0,029	0,688	13,159	500 mm	0,779	3,164	39,563

Tab. 16 Koeficienty K , K_1 , K_2 .

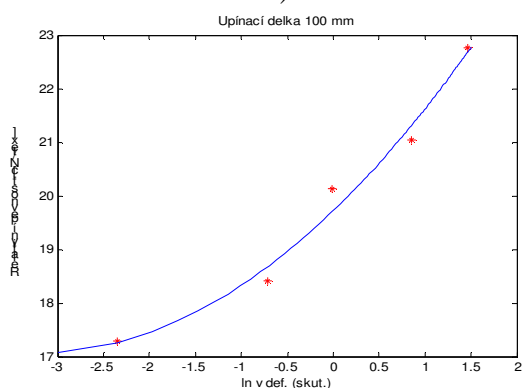
V grafech na obr. 23-25 je vynesena závislost relativní pevnosti na logaritmu skutečné rychlosti deformace podle tab. 5 pro jednotlivé upínací délky bavlněných přízí a polyesterových monofilů.



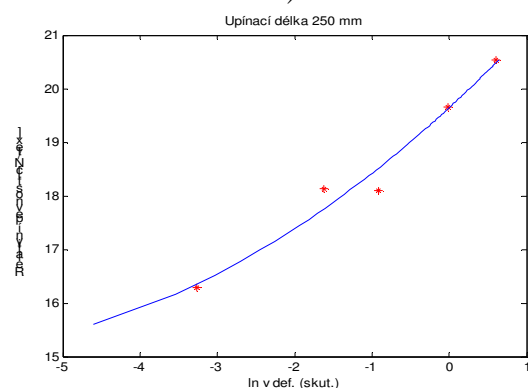
a)



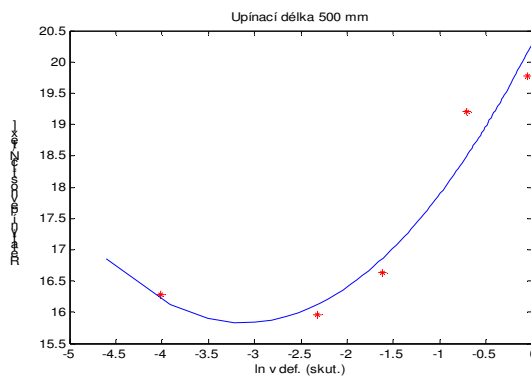
b)



c)



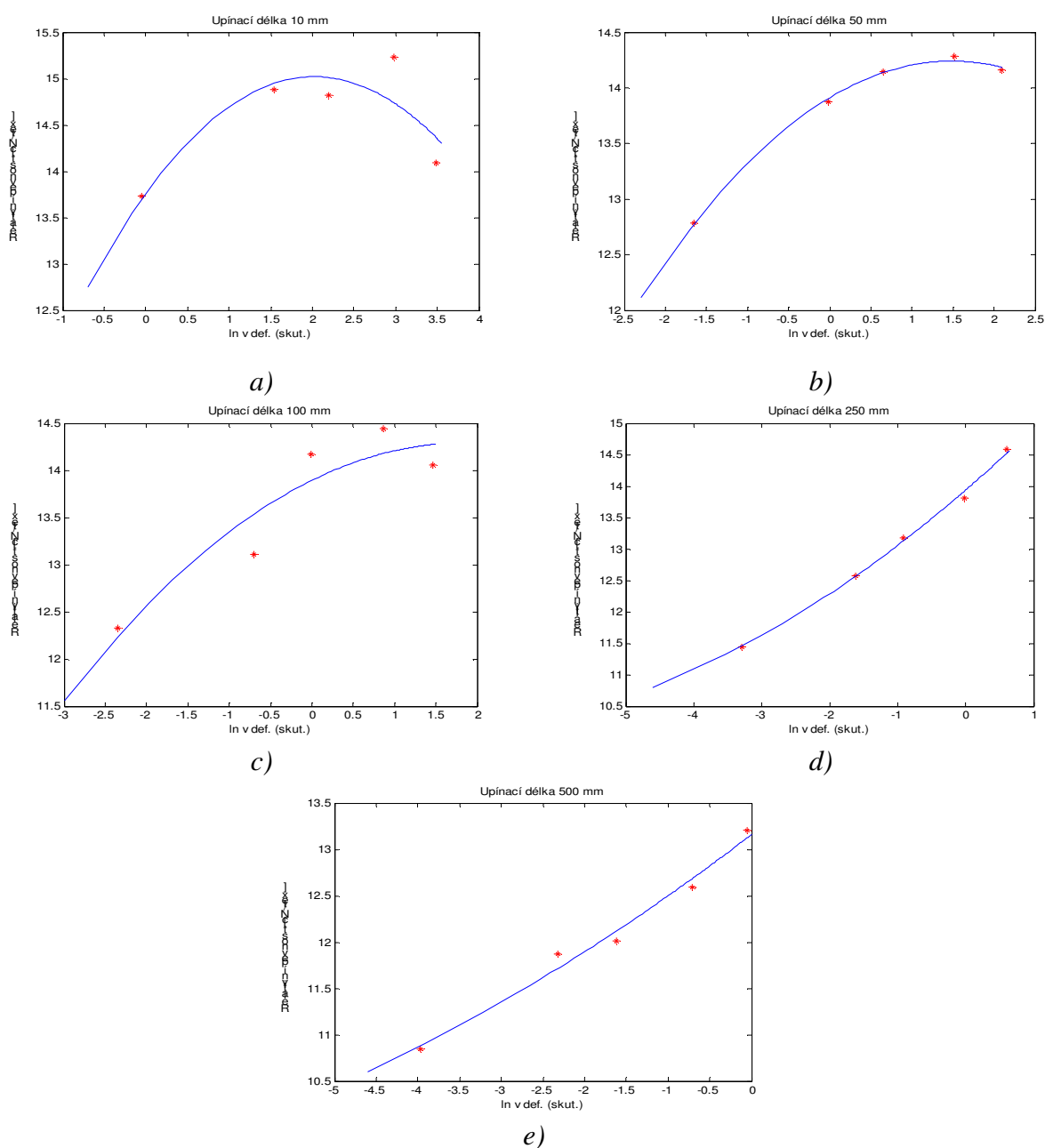
d)



e)

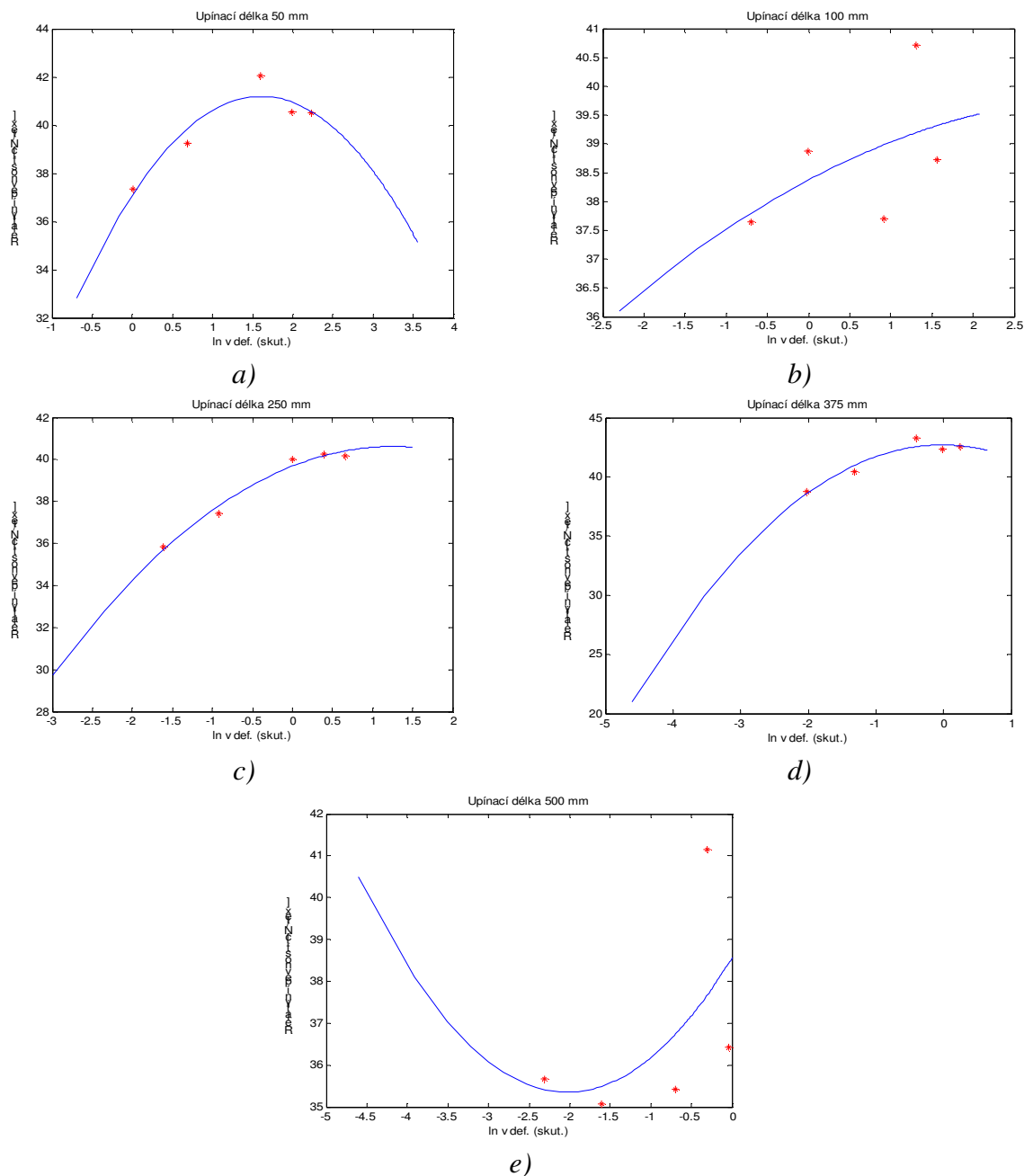
Obr.23 Závislost relativní pevnosti na logaritmu skutečné rychlosti deformace pro jednotlivé upínací délky – příze jemnosti 7,4 tex

Jak je patrné z grafů na obr. 23 polynomy druhého stupně velmi dobře aproximují naměřené hodnoty a potvrzují platnost předpokládaného modelu konvexně rostoucí funkce. Výjimku tvoří pouze hodnoty relativní pevnosti naměřené na upínací délce 10 mm viz. obr. 23a neboť zde zřejmě platí jiný mechanismus přetrhu (viz. kap.3.1).



Obr.24 Závislost relativní pevnosti na logaritmu skutečné rychlosti deformace pro jednotlivé upínací délky – příze jemnosti 14,5 tex

Jak je patrné z grafu pro bavlněnou přízi jemnosti 14,5 tex (obr.24) uvedenému modelu vyhovují pouze hodnoty relativní pevnosti měřené na vyšších upínacích délkách (obr. 24d,e).

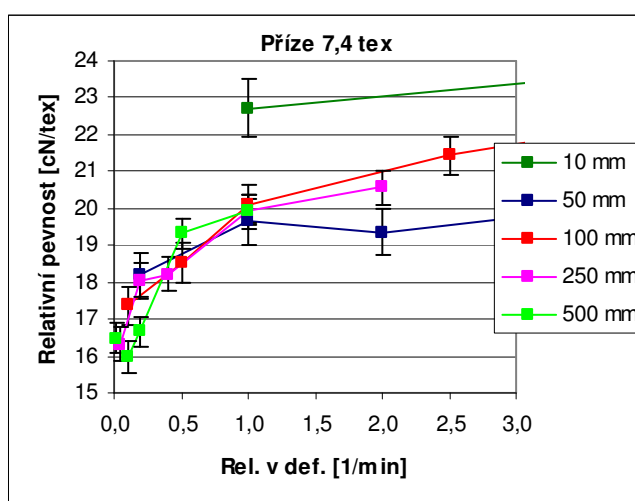


Obr.25 Závislost relativní pevnosti na logaritmu skutečné rychlosti deformace pro jednotlivé upínací délky – polyesterový monofil

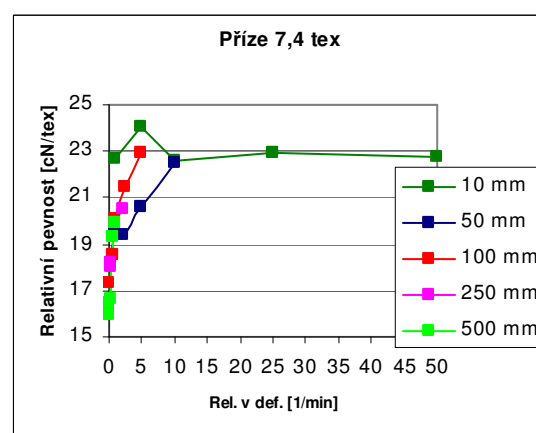
Podle obr. 25 se ukazuje, že model konvexně rostoucí funkce při aproximaci polynomem druhého stupně pro polyesterový monofil nebyl vyhovující.

Závislost relativní pevnosti na teoretické rychlosti deformace

V grafech 26-28 jsou relativní pevnosti (včetně konfidenčních intervalů) orientačně vyneseny na teoretické rychlosti deformace podle tab. 2. Pro lepší rozlišení jsou křivky zobrazené jen do rychlosti deformace 3 [1/min]. Celý graf až do rychlosti 50 [1/min] pro relativní pevnosti přízí o jemnosti 7,4 tex je na obr. 26b. Tažnosti a moduly pružnosti vyneseny na teoretické rychlosti deformace pro bavlněné příze a polyesterové monofily jsou obsaženy v příloze č. 2.

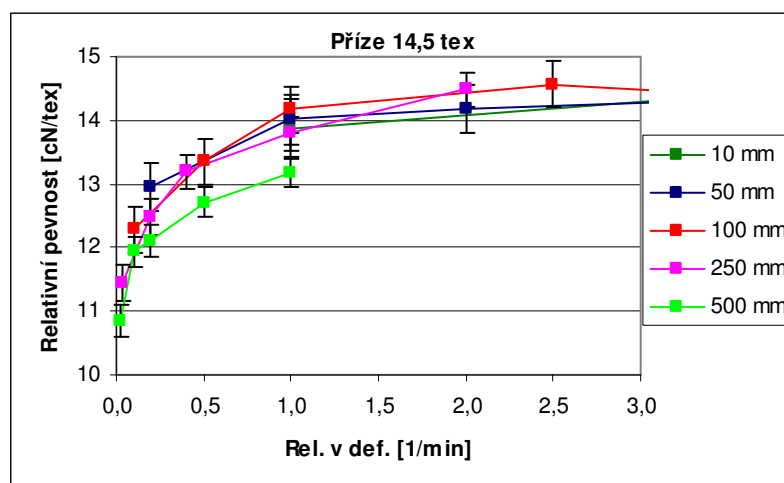


a)

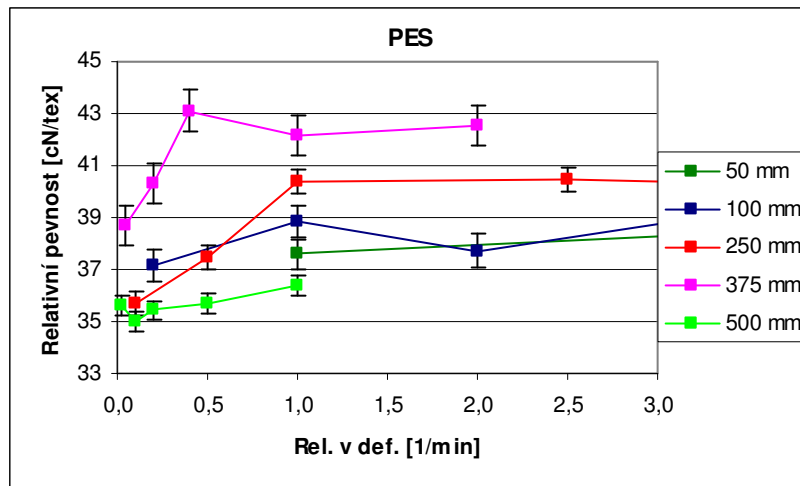


b)

Obr. 26 a) relativní pevnosti v závislosti na teoretické rychlosti deformace, b) detail celého grafu pro přízi o jemnosti 7,4 tex



Obr. 27 Relativní pevnosti v závislosti na teoretické rychlosti deformace pro přízi o jemnosti 14,5 tex

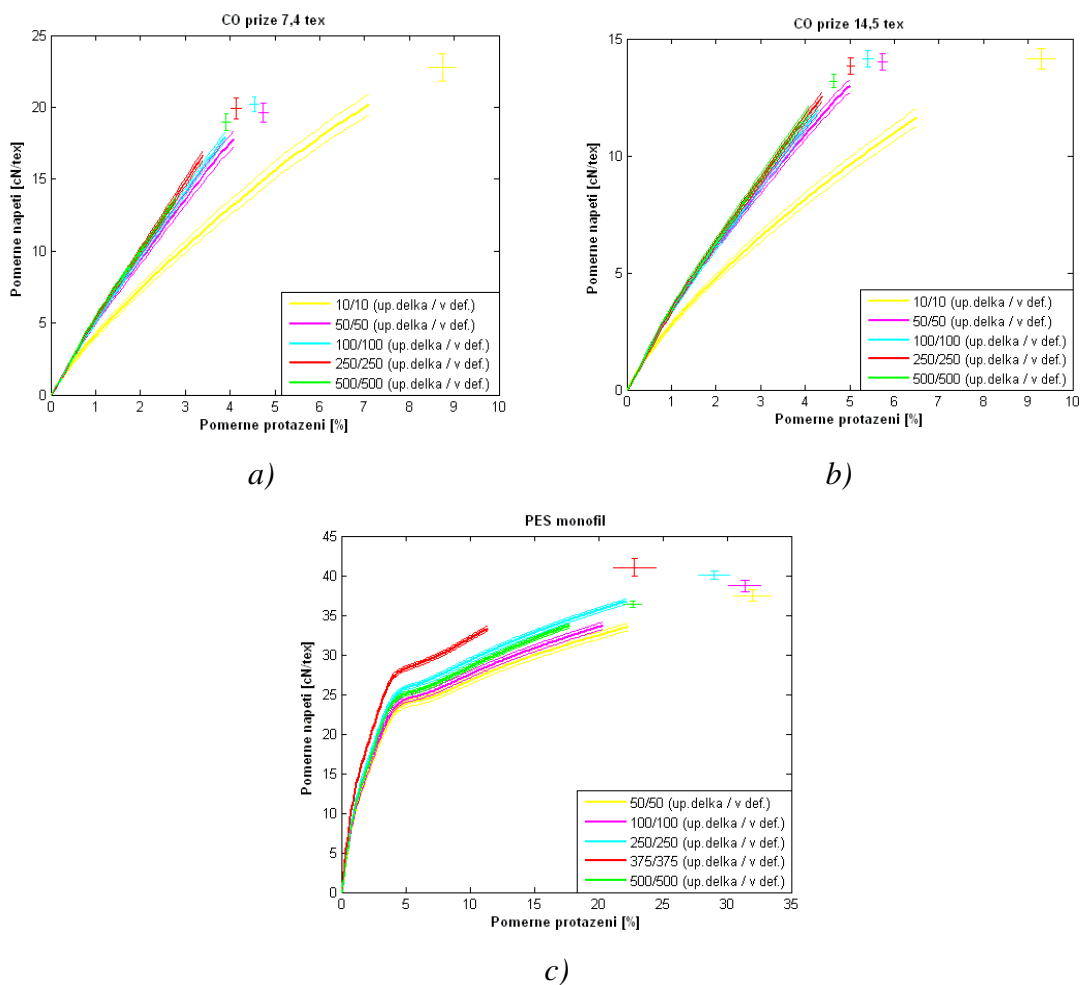


Obr. 28 Relativní pevnosti v závislosti na teoretické rychlosti deformace pro polyesterový monofil

Hodnoty relativních pevností příze jemnosti 7,4 tex jsou oproti přízi jemnosti 14,5 vyšší viz. obr. 26 a 27, což je dáno jiným druhem vlákna a vyšším zákrutem. Pravidelnější nárůst relativní pevnosti v závislosti na teoretické rychlosti deformace vykazuje bavlněná příze o jemnosti 14,5 tex. Hodnoty relativních pevností v závislosti na teoretické rychlosti deformace (obr. 28) pro polyesterový monofil jsou značně rozptýlené, což je dáno jeho nehomogenitou.

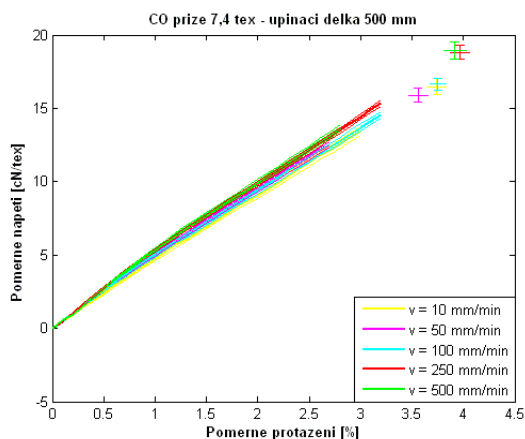
Vybrané tahové křivky bavlněných přízí a monofilů

V grafech na obr. 29 jsou průměrné tahové křivky včetně konfidenčních intervalů pro příze a polyesterové monofily měřené při stejné upínací délce a stejné rychlosti posuvu příčnicku, ve kterých je možno sledovat vliv upínací délky při konstantní rychlosti posuvu příčnicku.

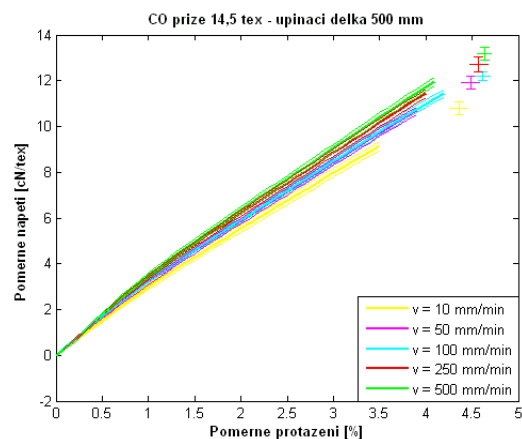


Obr. 29 Průměrné tahové křivky bavlněných přízí a polyesterových monofilů pro stejnou upínací délku a stejnou rychlost posuvu příčnicku

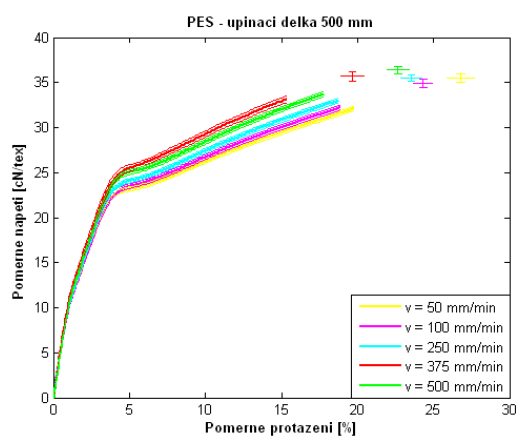
V grafech na obr. 30 jsou zobrazeny vybrané vzorové průměrné tahové křivky měřené při upínací délce 500 mm a rozdílných rychlostech posuvu příčnicku pro bavlněné příze a polyesterové monofily ve kterých je možno sledovat vliv zvyšující se rychlosti posuvu příčnicku při stejné upínací délce. Průměrné tahové křivky pro další upínací délky a tahové křivky měřené při stejné rychlosti deformace a rozdílných upínacích délkách jsou obsaženy v příloze č. 3.



a)



b)

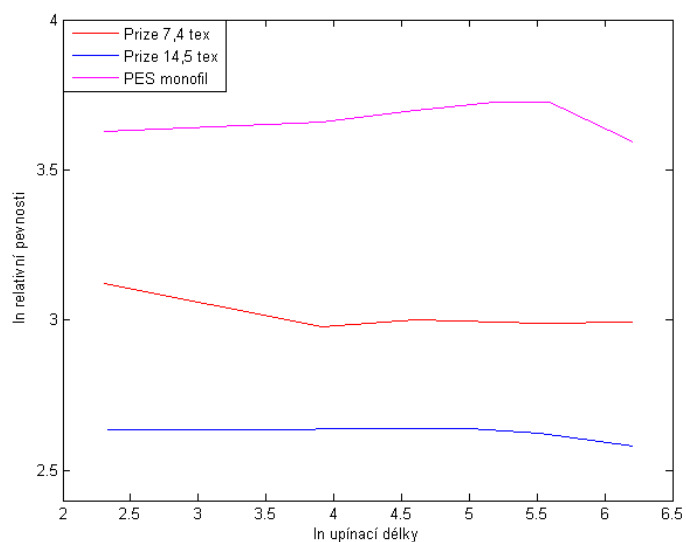


c)

Obr. 30 Průměrné tahové křivky měřené při upínací délce 500 mm a různých rychlostech posuvu příčnicku pro bavlněné příze a polyesterové monofíly

3.2.3 Závislost relativní pevnosti na upínací délce

Pomocí modelu (2.26) o rozložení relativní pevnosti při různých upínacích délkách byla zjišťována funkční závislost mezi upínací délkou a relativní pevností. Výsledkem je graf na obr. 31 (logaritmus relativní pevnosti proti logaritmu upínací délky -přímka se zápornou směrnicí).



Obr. 31 Závislost logaritmu relativní pevnosti na logaritmu upínací délky

Grafy závislosti relativní pevnosti a tažnosti na čase pro bavlněné příze a polyesterové monofily jsou obsaženy v příloze č. 4.

Tabulky pro porovnání práce do přetruhu pro bavlněné příze a polyesterové monofily lze nalézt v příloze č. 5.

Závěr:

Na bavlněných prstencových česaných přízích jemnosti 7,4 tex, 14,5 tex a polyesterovém monofilu jemnosti 3,28 tex byla provedena tahová zkouška při rozdílných rychlostech deformace (pro bavlněné příze 10, 50, 100, 250, 500 mm/min, pro polyesterový monofil 50, 100, 250, 375, 500 mm/min) a různých upínacích délkách (pro bavlněné příze 10, 50, 100, 250, 500 mm, pro polyesterový monofil 50, 100, 250, 375, 500 mm).

Vliv rychlosti deformace a vliv upínací délky na jednotlivé relativní pevnosti, tažnosti a moduly pružnosti měřených materiálů byl vyhodnocen pomocí dvoufaktorové analýzy rozptylu. Pro bavlněné příze bylo zjištěno, že ze zvyšující se rychlosti posuvu příčnicku se relativní pevnost zvyšuje, tažnost a moduly pružnosti zvyšující se rychlost posuvu příčnicku výrazně neovlivňuje. Ze zvyšující se upínací délkou (pro bavlněné příze) klesá relativní pevnost a tažnost. Hodnoty modulů pružnosti zvyšující se upínací délka ovlivňuje jen minimálně. Polyesterový monofil má v porovnání s bavlněnými přízemi přibližně stejný trend, ale díky tomu, že měřený materiál nebyl příliš homogenní jsou zde některé skokové změny. Celkově lze říci, že vliv upínací délky a vliv rychlosti posuvu příčnicku na relativní pevnost, tažnost a moduly pružnosti pro bavlněné příze i polyesterový monofil je významný.

V další části diplomové práce byla snaha nalézt pomocí modelů, funkční závislost mezi rychlostí deformace a relativní pevností. Platnost předpokládaného modelu konvexně rostoucí funkce splňují bavlněné příze jemnosti 7,4 tex (mimo hodnot relativní pevnosti měřené na upínací délce 10 mm - zřejmě zde platí jiný mechanismus přetrhu). Pro přízi 14,5 tex platí, že uvedenému modelu vyhovují pouze hodnoty relativní pevnosti měřené na vyšších upínacích délkách (250 mm, 500mm). Pro polyesterový monofil nebyl model konvexně rostoucí funkce při aproximaci polynomem druhého stupně vyhovující, což je zřejmě dáno jeho nehomogenitou.

Pro získání věrohodnějších výsledků by bylo nutno experiment znovu prověřit, tzn. zopakovat měření, případně získat více dat a vybrat vhodnější (homogenní) polyesterový monofil.